

Smajo ČORVIĆ, dipl. inž. maš.
Miralem ANDELIJA, dipl. inž. maš.
Mehmed KIJAMET, maš. inž.

TEHNOLOGIJA OBRAD

ZA II RAZRED SREDNJIH MAŠINSKIH
STRUČNIH I SRODNIH ŠKOLA

II izdanje

IP "SVJETLOST"
Zavod za udžbenike i nastavna sredstva

SARAJEVO, 2000.

Izdavač: IP "SVJETLOST" d.d. Sarajevo
Zavod za udžbenike i nastavna sredstva

Direktor: Šefik ZUPČEVIĆ

Urednik: Abduselam RUSTEMPAŠIĆ, dipl. inž.

Recenzenti: Dr. Isak KARABEGOVIĆ
Enes ŠURKOVIĆ

Lektor: Emina PANDŽO

Korektor: Mersija ĆEHIĆ

Tehnički urednik: Vanda BABOVIĆ

Naslovna strana: Dizajn "TRIO"

Stručni konsultant: Salim OBRALIĆ

DTP: Kenan KREPONIĆ
Tarik GALIJAŠEVIĆ

Štampa: SZR "BIROGRAF"

Tiraž: 2.000 primjeraka

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i univerzitetska biblioteka
Bosne i Hercegovine, Sarajevo

621.9(075.3)

ĆOROVIĆ, Smajo

Tehnologija obrade : za II razred srednjih
mašinskih stručnih i srodnih škola / Smajo
Ćorović, Miralem Anđelija, Mehmed Kijamet. – 2.
izd. – Sarajevo : Svjetlost, 2000. – 168 str. : ilustr. ; 24 cm

ISBN 9958–10–217–X

1. Anđelija, Miralem 2. Kijamet, Mehmed
COBISS/BiH-ID 7904518

Federalno Ministarstvo obrazovanja, nauke, kulture i sporta, Rješenjem broj 03-38-9-2426/00
odobrilo je ovaj udžbenik za upotrebu.

Strogo je zabranjeno svako kopiranje, umnožavanje i preštampavanje ovog udžbenika u cjelini
ili pojedinih njegovih dijelova, bez odobrenja izdavača.

ISBN 9958–10–217–X

1. ULOGA I ZNAČAJ TEHNOLOGIJE OBRADJE METALA

1.1 ULOGA I ZNAČAJ TEHNOLOGIJE OBRADJE METALA U MAŠINSTVU

Tehnologija je nauka o preradi sirovina u gotove proizvode. Tehnologija obrade je posebna oblast tehničke djelatnosti, koja je veoma raširena i složena, pošto davanje određenog oblika raznim dijelovima predstavlja osnovu cjelokupne tehnike.

Obzirom da se pod pojmom tehnologije obrade podrazumijeva obrada svih tehničkih materijala, predmet našeg daljeg razmatranja bazirati će se na tehnologiji obrade metala.

Zbog svoje univerzalnosti i obimnosti, koje su izazvane raznovrsnim potrebama izrade pojedinih dijelova, postupci tehnološke obrade metala su danas toliko mnogobrojni da ih je teško sve i nabrojati.

Tehnologija obrade metala u mašinstvu zauzima vrlo značajno mjesto. Treba napomenuti da se upotrebom odgovarajuće tehnološke obrade na pojedinim materijalima mogu napraviti značajne ekonomske uštede, što direktno utiče i na cijenu koštanja proizvoda.

Koji će se od postupaka tehnološke obrade primijeniti u datom slučaju zavisi i od toga koliko se tačnost obrade traži te i o potrebnom kvalitetu obrađene površine.

Koja će se tehnologija obrade na materijalima-metalima primijeniti zavisi i od tehničkih karakteristika samog materijala, jer se primjenom nekih postupaka tehnološke obrade mijenjaju i tehničke karakteristike materijala. Tako se, naprimjer, metali prilikom hladne deformacije očvršćavaju itd.

1.2 PODJELA TEHNOLOGIJE OBRADJE

Tehnologije obrade dopuštaju svrstavanje u nekoliko grupa sa zajedničkim obilježjem a koje se vrše **mehaničkim i termičkim** putem te **površinska zaštita** kao poseban ali vrlo bitan vid tehnološke obrade.

Zadatak tehnološke obrade mehaničkim putem jeste, prije svega, davanje željenog oblika predmetu obrade, dok se termičkim putem u osnovi djeluje na unutrašnju strukturu materijala.

Sve postupke mehaničke obrade možemo uslovno podijeliti u dvije velike podgrupe i to: *obrada metala skidanjem strugotine ili rezanjem i obrada deformacijama.*

U postupke tehnološke obrade rezanjem spada:

- obrada na testerama,
- obrada na strugu,
- obrada na bušilici,
- obrada na glodalici,

- obrada rendisanjem i provlačenjem,
- obrada na brusilicama,
- obrada glačanjem,
- obrada upuštanjem i razvrtanjem,
- obrade završnim postupcima kao što su:
 - fina obrada dijamantnim alatom,
 - honovanje,
 - superfiniš,
 - poliranje itd.

Pod tehnologijom obrade metodom skidanja strugotine ili rezanjem podrazumijeva se takav postupak gdje su skidani djelići materijala vrlo mali u odnosu na veličinu obratka i takvog su oblika da se više ne mogu direktno upotrebljavati za daljnju obradu.

Druga skupina, odnosno obrada deformacijom, podrazumijeva postupke kod kojih za vrijeme rada dolazi do premiještanja čestica metala, čiji pojam zapravo i označavamo kao deformisanje metala.

U grupu obrada deformacijom spada sljedeće:

- livenje, koje se može razdijeliti na:

- livenje pod pritiskom ,
- livenje u kokili,
- centrifugalno livenje,
- livenje u pijesku ,
- neprekidno (kontinualno) livenje itd.,
- kovanje,
- presovanje,
- valjanje,
- izvlačenje,
- obrade zavarivanjem i lemljenjem, koje takođe spadaju u grupu obrade deformacijom, - itd.

Sve naprijed navedeno spada u kategoriju konvencionalnih metoda tehnološke obrade, dok u skupinu nekonvencionalnih metoda obrade spadaju elektrofizičke i elektrohemijske metode obrade odnosno metode obrade odnošenjem materijala.

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Kakva je uloga i značaj tehnologije obrade u mašinstvu?
2. Šta je to tehnologija?
3. Kako i na osnovu čega se može izvršiti podjela tehnologije obrade metala?
4. Kakav je zadatak tehnologije obrade metala?
5. U čemu se ogleda razlika između mehaničkih i termičkih postupaka obrade?
6. Šta spada u tehnološke postupke obrade skidanjem strugotine ili rezanjem?
7. Koji postupci tehnološke obrade se mogu svrstati u kategoriju obrade deformisanjem?
8. Koji su to postupci konvencionalne a koji nekonvencionalne obrade?

2. OBRADA SKIDANJEM STRUGOTINE - REZANJEM

Obrada skidanjem strugotine rezanjem je relativno mlada nauka koja se veći niz godina primjenjuje kao osnovni tehnološki postupak tačne izrade dijelova mašina i mehanizama.

Po svom obliku i primjeni ona ima značajnu ulogu, jer se njom postiže visoka tačnost i proizvodnost operacija. Saznanja u oblasti obrade skidanjem strugotine povezana su, u ogromnoj mjeri, sa alatima i materijalima obratka, njihovim fizičko-mehaničkim osobinama, kao i brzinom rezanja. Stoga je nužno poznavati njihove specifičnosti da bi se uspješno mogli odrediti parametri rezanja.

2.1 OPĆI POJMOVI U OBRADI SKIDANJEM STRUGOTINE - REZANJEM

Pod općim pojmom obrade skidanjem strugotine - rezanjem podrazumijevamo one vidove obrade kojima se višak materijala sa obratka skida posredstvom reznog klina (noža) koji prodire u materijal. Tako skinuti višak materijala naziva se **strugotina**.

Obrada skidanjem strugotine - rezanjem predstavlja postepenu promjenu stanja obratka (promjena geometrijskih oblika i dimenzija, promjenu kvaliteta obrađenih površina u cilju dobijanja gotovog dijela). Skinuta strugotina sa obratka takvog je oblika da se više ne može upotrijebiti u postojećoj proizvodnji.

Obradu skidanjem strugotine, s obzirom na način izvođenja možemo podijeliti u dvije grupe: ručnu i mašinsku obradu.

U **ručnu** obradu spadaju: sječenje, turpijanje, rezanje navoja itd.

U **mašinsku** obradu spadaju: struganje, glodanje, bušenje, rendisanje, testerisanje, provlačenje, brušenje, lepovanje, honovanje, superfjniš i poliranje.

Koju ćemo obradu skidanja strugotine upotrijebiti zavisi od oblika, materijala, stepena tačnosti i klase obrađene površine obrade.

2.1.1 VRSTE I GEOMETRIJA REZNOG ALATA

Da bi obradak dobio svoj konačan oblik, tj. dimenzije prema radioničkom crtežu, neophodno je pored mašina alatki, obezbijediti i rezni alat. Prema svojoj namjeni alate koji se koriste u proizvodnom procesu možemo svrstati u sljedeće grupe: rezni, stezni i mjerni alati.

Rezni alat je onaj alat kojim se vrši skidanje strugotine.

Stezni alat je onaj alat pomoću kojeg se vrši stezanje (pridržavanje) obratka.

Mjerni ili kontrolni alat je onaj alat kojim se vrši mjerenje obratka u toku i nakon obrade.

Prema vrsti obrade za koju se koriste, rezne alate alate možemo svrstati u sljedeće grupe:

- alati za struganje (strugarski noževi),

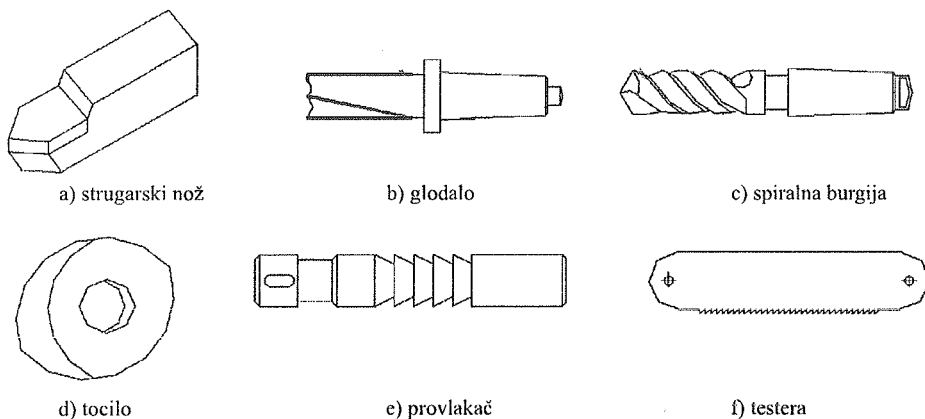
- alati za glodanje (glodala),

- alati za bušenje (spiralne burgije),
- alati za brušenje (tocila),
- alati za provlačenje (provlakači),
- alati za testerisanje (testere) itd.

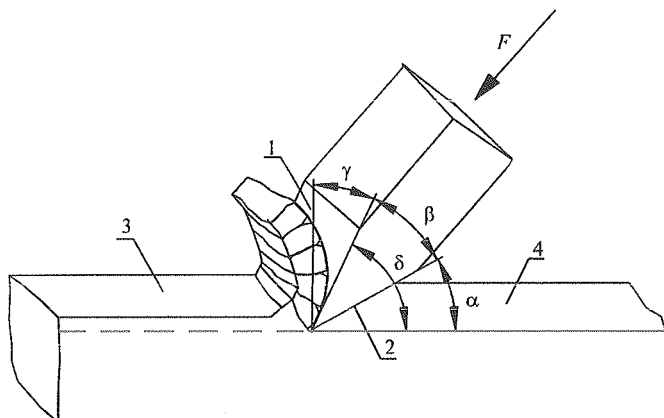
Rezni alati mogu biti standardni i specijalni. Standardni alati po svojoj konstrukciji su jednostavniji, time su jeftiniji i proizvode se u velikim serijama, dok su specijalni alati složenije konstrukcije, zato su skuplji i proizvode se u malim količinama.

Alati u obradi skidanjem strugotine - rezanjem, u većini slučajeva imaju zajednički geometrijski oblik - rezni klin.

To znači da se osnovni elementi (površine, uglovi sječiva i drugo) pojavljuju kako kod strugarskog noža tako i kod noževa za rendisanje, zatim i kod zuba alata za glodanje, provlačenje, bušenje pa čak i brušenje.



Slika 2.1 Šematski prikaz reznih alata



Slika 2.2 Prikaz klina kao osnovnog oblika alata za skidanje strugotine

1. grudna površina; 2. ledna površina; 3. neobrađena površina; 4. obrađena površina;
 α - ledni ugao ; β - ugao klina ; γ - grudni ugao ; δ - ugao rezanja.

Na ovoj slici su prikazane sve osnovne površine bilo kojeg reznog alata.

Grudna površina ili prednja površina je površina po kojoj klizi strugotina. **Leđna** ili **zadnja površina** je površina koja je okrenuta prema obrađenoj površini obratka.

Presjek grudne i leđne površine daje **reznju ivicu (sječivo)** alata. Ugao između leđne površine alata i obrađene površine obratka naziva se **leđni** ili **zadnji uga**.

Ugao koji obrazuje grudna i leđna površina naziva se **ugao klina**.

Ugao između grudne površine i normale povučene na obrađenu površinu obratka naziva se **grudni** ili **prednji uga**.

Ugao koji zaklapa grudna površina i obrađena površina radnog predmeta naziva se **ugao rezanja**.

Zbir grudnog, leđnog i ugla klina iznosi 90° , tj. $\alpha + \beta + \gamma = 90^{\circ}$.

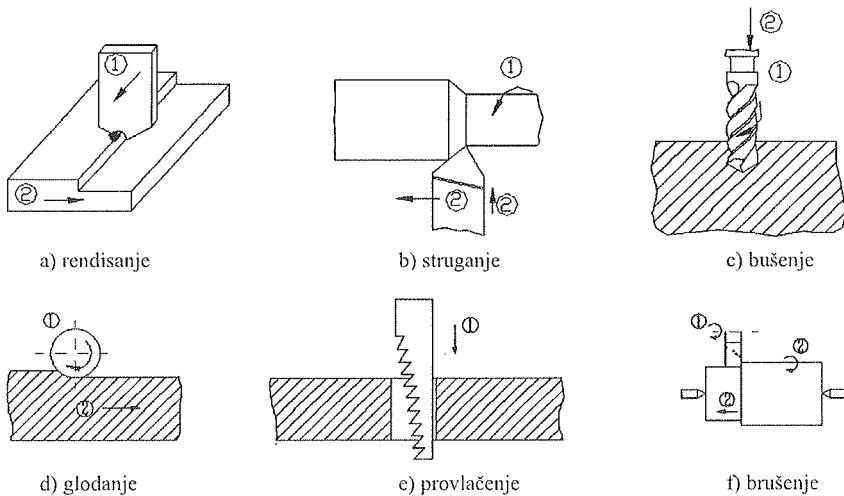
Djelovanje reznog klina na obradak zavisi od ugla klina β , širine klina, položaja klina u odnosu na obrađenu površinu i pravca djelovanja sile rezanja F .

Ako je uga klina β manji, klin lakše prodire u obradak. Ukoliko je širina klina veća i širi-na strugotine je veća, pa je samim tim potrebna i veća sila rezanja.

2.1.2 KRETANJE U PROCESU REZANJA

Proces skidanja strugotine, odvija se uz određena relativna kretanja alata i obratka. Ova kretanja, zavisno od uloge koju imaju u procesu obrade dijele se na : glavno i pomoćno kretanje.

Glavno kretanje je ono kretanje koje direktno omogućava skidanje strugotine. Pomoćno kretanje je ono kretanje alata ili obratka, koje poslije ostvarenog glavnog kretanja omogućava dalji proces skidanja strugotine.



Slika 2.3 Prikaz vrsta kretanja kod mašina alatki

Sa slike 2.3, može se vidjeti da glavno kretanje (1) može biti: obrtno (krivolinijsko) i pravolinijsko, a izvodi ga obradak ili alat. Naprimjer kod struganja i rendisanja na dugohodnoj rendisaljki, glavno kretanje izvodi obradak, dok kod bušenja, glodanja, brušenja, provlačenja, rendisanja na kratkohodnoj rendisaljki glavno kretanje izvodi alat. Očigledno, glavno kretanje

se od slučaja do slučaja razlikuje, te stim u vezi slijedi i osnovna podjela mašina za obradu skidanjem strugotine na: mašine sa glavnim pravolinijskim i mašine sa glavnim obrtnim (krivolinijskim) kretanjem.

Pomoćno kretanje (2) kao i glavno kretanje (1) može biti pravolinijsko i krivolinijsko, a ponekad ga izvode i dva komponentna kretanja. Pored toga, pomoćnim kretanjem može se smatrati primicanje da bi se vršila dalja obrada po dubini obratka. Pomoćno kretanje može se ostvariti automatski ili ručno.

2.1.3 OSNOVNE VELIČINE U PROCESU OBRADJE SKIDANJEM STRUGOTINE (BROJ OBRATAJA, BRZINA REZANJA, POSMAK, DUBINA REZANJA)

Osnovne veličine u procesu obrade skidanjem strugotine, mjerodavne za obrađivanje režima obrade su: broj obrtaja, brzina rezanja, posmak i dubina rezanja.

Kod alatnih mašina sa glavnim kružnim kretanjem, radno vreteno nosi alat ili obradak i izvodi obrtno kretanje.

Broj obrtaja glavnog vretena zavisi od brzine rezanja, i može se odrediti iz relacije za brzinu rezanja, odakle se dobija da je:

$$n = [1000 v] / [\pi d] \quad [\text{min}^{-1}]$$

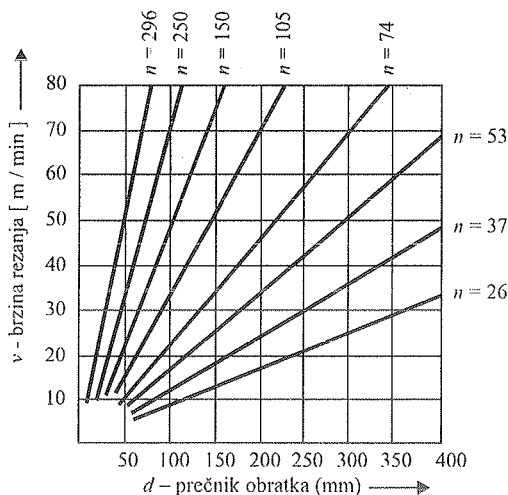
gdje je:

n - broj obrtaja obratka [min^{-1}],

v - brzina rezanja [m/min]

d - prečnik obratka [mm]

Približan broj obrtaja može se odrediti i grafičkim putem pomoću radnog dijagrama koji se nalazi na mašini. Jedan takav radni dijagram dat je na slici 2.4. Na apscisi dijagrama dati su podaci koji odgovaraju prečniku obratka, a na ordinati brzine rezanja. Presjek koordinata koje odgovaraju prečniku obratka i brzini rezanja dati će približan broj obrtaja. Ovaj broj mora se prilagoditi odgovarajućem broju obrtaja radnog vretena mašine. Obično se usvaja prvi manji broj obrtaja radnog vretena date mašine.



Slika 2.4 Radni dijagram mašine

Brzina kojom oštrica alata skida strugotinu predstavlja **brzinu rezanja**. Brzina rezanja je izražena u **m/min**. Naprimjer, brzina rezanja od 45 m/min predstavlja strugotinu dugu 45 m skinutu za jednu minutu.

Zbog velikih brzina obrade, brzina rezanja kod brušenja izražava se u m/sekundi.

Na mašinama sa glavnim kružnim kretanjem, ako je poznat broj obrtaja, brzina rezanja određuje se po obrascu:

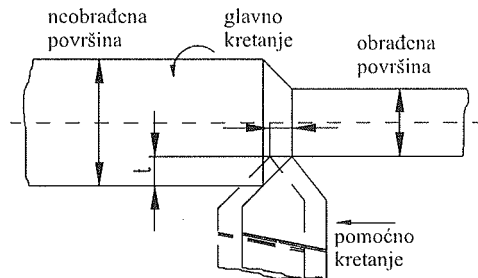
$$v = \pi d n / 1000 \text{ [m/min]}$$

Brzina rezanja zavisi od alatne mašine na kojoj se vrši obrada, kao i od sljedećih faktora:

- materijala obratka (mekši ili tvrdi materijal),
- vrste obrade (struganje, glodanje i brušenje),
- postojanosti alata,
- presjeka strugotine,
- reznog alata (različite vrste materijala reznog alata),
- hlađenja (vrste sredstava i načina hlađenja),
- površine obratka prije obrade (gruba ili fina).

Posmak ili korak (*s*) je veličina pomjeranja glavnog sječiva alata u odnosu na obradak u pravcu pomoćnog kretanja, za jedan obrtaj radnog predmeta (pri struganju) ili alata (pri glodanju ili brušenju), za jedan radni hod alata ili obratka (pri rendisanju) ili za jedan zub alata (pri glodanju).

Dimenzija posmaka izražava se u (mm/o) kod struganja, bušenja i brušenja; (mm/rh odnosno radnom hodu) kod rendisanja; (mm/z odnosno zubu) kod glodanja i provlačenja. Posmak kod struganja prikazan je na slici 2.5.



Slika 2.5 Posmak i dubina rezanja pri struganju

Dubina rezanja *t* (mm), je rastojanje između neobrađene i obrađene površine tj. dubina sloja materijala koji se skida u jednom prolazu noža.

Kod obrade na strugu dubina rezanja se određuje iz relacije:

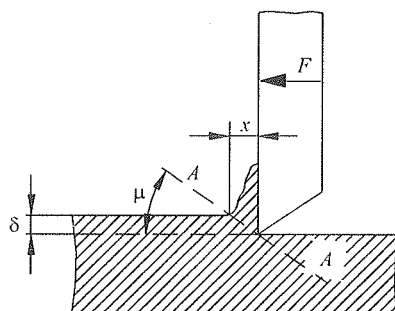
$$t = [d_0 - d] / 2 \text{ [mm]}$$

gdje je : *d*₀ - prečnik obratka prije [mm] i

d - prečnik predmeta nakon obrade (mm).

2.1.4 NASTAJANJE I VRSTE STRUGOTINE

Pri ostvarenju procesa rezanja, alat u vidu klina prodire u materijal obratka pod dejstvom sile rezanja. Pri tom, po grudnoj površini alata vrši se sabijanje odnosno nastaje plastična deformacija površinskog sloja materijala obratka sve do momenta pojave smicanja u ravni smicajnih naprezanja, slika 2.6.



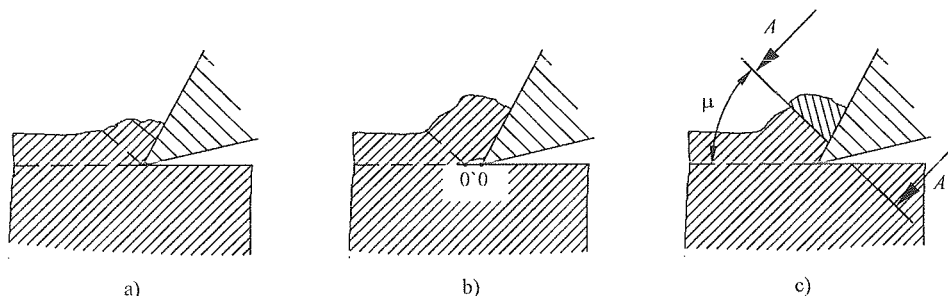
Slika 2.6 Dubina rasprostiranja plastičnih deformacija pri rezanju:
 δ - dubina rezanja; x - dubina rasprostiranja plastičnih deformacija;
 μ - ugao smicanja; A - A - ravan smicanja

Odvajanje strugotine od osnovnog materijala vrši se postupno, prolaženjem kroz različite faze, pri čemu se mogu izdvojiti najmanje tri osnovne faze nastajanja strugotine.

U prvoj fazi, alat prodire svojom grudnom površinom plastično sabijajući materijal ispred sebe. Pri plastičnoj deformaciji, elementarna lamela strugotine pretvara se iz oblika paralelograma u trapez. Na taj način prva faza odvajanja strugotine se završava (Slika 2.7 a).

U drugoj fazi dolazi do naprezanja u materijalu dostižući granicu loma, pa se ispred vrha noža pojavljuje pukotina 0-0 (Slika 2.7 b).

U trećoj fazi, usljed dještva sile kojom grudna površina prodire u materijal, napon smicanja u ravni smicanja A-A dostiže vrijednost jačine pri smicanju, nastaje klizanje, odnosno smicanje strugotine u toj ravni (Slika 2.7 c).



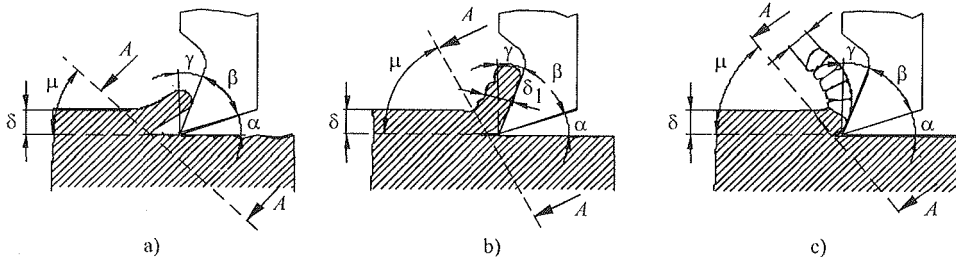
Slika 2.7 Faze nastajanja strugotine

Koje će deformacije nastati pri rezanju zavisi od: vrste i osobina materijala obratka, njegovog stepena plastične deformacije, temperature pri rezanju, veličine ugla smicanja (μ) itd.

Ipak, na vrstu formirane strugotine najveći uticaj ima grudni ugao (γ).

Iz prethodnog izlaganja se vidi da skinuta strugotina može biti različitog oblika, pa je moguće razlikovati sljedeće vrste strugotine:

- kidana ili lomljena strugotina,
- rezana strugotina i
- trakasta ili ljuštena strugotina.



Slika 2.8 Vrste strugotine

Za slučaj malog ugla smicanja i malog grudnog ugla, strugotina se naknadno deformiše i lomi. Pukotina ispred vrha noža je velika, pa se na obrađenoj površini vidi trag kidanja, te je obrađena površina hrapava. Ova strugotina naziva se kidanom ili lomljenom strugotinom (Slika 2.8 a).

Rezana strugotina nastaje pri većem grudnom uglu i većem uglu smicanja, pukotina ispred vrha noža je manja, pa je obrađena površina manje hrapava tj. čista. (Slika 2.8 b).

Pri velikom grudnom uglu i velikom uglu smicanja nastaje trakasta ili ljuštena strugotina (Slika 2.8 c). Ovo je svakako najbolja vrsta strugotine, jer je kod nje pukotina ispred vrha noža sasvim mala, a kvalitet obrađene površine je bolji nego kod prethodnih vrsta strugotine.

2.1.5 OTPORI REZANJA

Pri procesu stvaranja strugotine, tj. pri rezanju na rezni alat djelujemo silom, kako bi izvršili rezanje. Sila kojom djelujemo na rezni alat naziva se sila rezanja.

Prodiranju reznog alata u materijal suprotstavljaju se otpori, koje rezni alat mora da savlada. Otpori koji se pojavljuju i suprotstavljaju sili rezanja nazivaju se otpori rezanja, a koji djeluju u pravcu sile rezanja ali u suprotnom smjeru.

Otpori rezanja nastaju usljed:

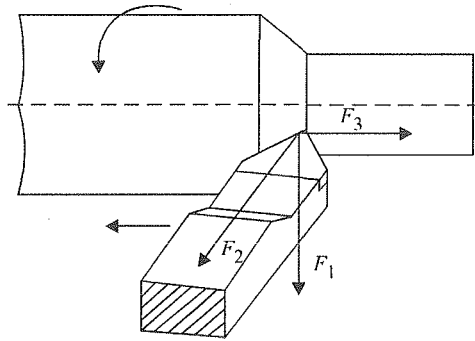
- deformacije reznog sloja materijala,
- smicanja i odvajanja strugotine od obratka,
- sile trenja strugotine na grudnoj površini reznog alata i
- sile trenja između površine rezanja obratka i leđne površine reznog alata.

Pri proračunu otpornosti reznog alata, pogonske snage mašine i režima obrade, kao polazna osnova uzimaju se otpori rezanja.

Veličina otpora rezanja zavisi od sljedećih faktora:

- vrste materijala obratka,
- dubine rezanja,
- koraka,
- veličine grudnog ugla,
- veličine napadnog ugla,
- rashladnih sredstava,
- habanja alata,
- poluprečnika zaobljenja vrha noža,
- brzine rezanja itd.

Otpore rezanja možemo razložiti u prostoru na tri komponente (F_1, F_2 i F_3), kao prostorne sile, što se može vidjeti na slici 2.9.



Slika 2.9 Otpori rezanja

Sila F_1 - je glavni otpor rezanja i ona djeluje vertikalno na oštricu noža. Sila F_2 , otpor prodiranja, djeluje u pravcu tijela noža, suprotsavljajući se prodiranju noža u materijal. Sila F_3 djeluje suprotno pomoćnom kretanju i naziva se otpor pomoćnom kretanju.

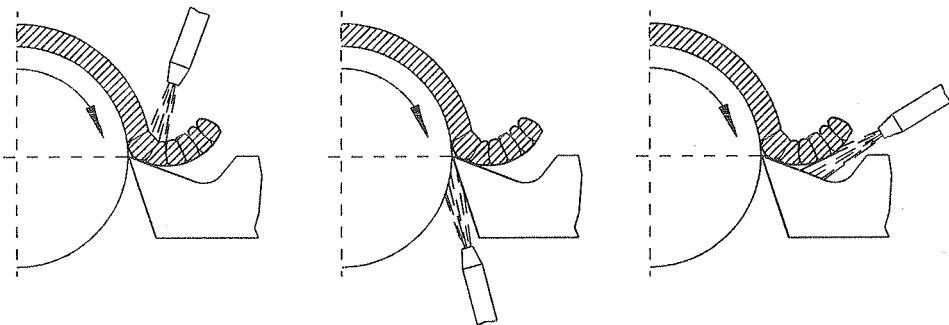
Međusobni odnosi ovih otpora približno iznose $F_1 : F_2 : F_3 = 5 : 2 : 1$.

2.1.6 SREDSTVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE I NJIHOV UTICAJ NA OBRADU REZANJEM

Proces obrade rezanjem je prilično složen. Složenost procesa ogleda se u tome što se pojavljuju različiti otpori rezanja i trenja strugotine na grudnoj površini reznog alata, što prouzrokuje stvaranje toplote na mjestu skidanja strugotine. Nastala temperatura i trenje imaju negativan uticaj na postojanost reznog alata, tj. smanjivanjem postojanosti smanjuje se i stepen iskorištenja reznog alata. Da bi povećali stepen iskorištenja, ukazala se potreba za hlađenjem tj. odvođenjem toplote iz zone rezanja i podmazivanjem reznog alata u procesu rezanja.

Hlađenje i podmazivanje može biti :

- sistemom polivanja i
- sistemom pod pritiskom (Slika 2.10).



Slika 2.10 Hlađenje i podmazivanje

Gdje je:

a/ sistem polivanja;

b/ sistem hlađenja pod pritiskom sa ledne površine i

c/ sistem hlađenja pod pritiskom sa grudne površine reznog alata.

Sistem hlađenja i podmazivanja polivanjem koristi se pri malim brzinama rezanja za razliku od sistema pod pritiskom koji se koristi za veće brzine rezanja. Kao sredstvo za hlađenje i podmazivanje upotrebljavaju se :

- sapunica,
- emulzija,
- ulje za rezanje i slično.

Sapunica je rastvor vode i 5-10 % kalcinirane sode, sa dodatkom kalijevog sapuna. Sapunica dobro hladi, ali slabo podmazuje i zato ima malu primjenu u praksi.

Pod emulzijom podrazumijevamo mješavinu ulja (emulziono ulje) sa vodom u odnosu 1:10, koja je boje mlijeka. Kod spremanja emulzije koristi se mehka voda u koju se sipa ulje, a potom se dobro izmiješa. Emulzija ima osobine dobrog hlađenja a nešto slabijeg podmazivanja.

Ulja za rezanje spadaju u grupu rashladnih sredstava koja dobro podmazuju, ali slabo hlade.

Ulja za rezanje mogu biti biljnog i životinjskog porijekla. Od biljnih ulja najpoznatija su ricinus i repičino ulje, a od životinjskih ulja u upotrebi su riblje i koštano.

Sredstva za hlađenje i podmazivanje imaju značajan uticaj na obradu rezanjem. Njihov uticaj ogleda se u:

- smanjenju toplote (odvođenju toplote),
- smanjenju trenja ,
- povećanju brzine rezanja,
- povećanju kvaliteta obradive površine,
- povećanju postojanosti alata,
- u određenim efektima u smislu antikorozivne zaštite.

2.1.7 MATERIJAL ZA IZRADU REZNOG ALATA

Primjenjujući metodu obrade skidanjem strugotine, vrlo često je potrebno primijeniti i veći broj različitih operacija. Time se nameće potreba za različitim reznim alatima, kako po svom konstruktivnom obliku tako i po vrsti materijala. Obzirom da je alat u eksploataciji izložen različitim opterećenjima, zavisno od operacije, za njihovu izradu treba koristiti materijale koji imaju sljedeće osobine: povećanu tvrdoću, žilavost ; otpornost na povišene temperature, otpornost na habanje itd.

Za izradu reznih alata koriste se sljedeći materijali:

- alatni ugljenični čelici,
- alatni legirani čelici,
- brzorezni čelici,
- tvrdi metali,
- sinterovani aluminijum-oksidi ili keramički materijali i
- dijamant.

Alatni ugljenični čelici imaju širu primjenu pri izradi alata za ručnu obradu, što se ne može reći za alate za mašinsku obradu, jer im je postojanost na povišenim temperaturama veoma mala. Postojani su na temperaturama do 150 °C, a već na temperaturama do 200 °C dolazi do naglog habanja rezne ivice alata.

Od ugljeničnih čelika rade se alati za ručnu obradu, sa malim brzinama rezanja kao što su: alati za drvo, papir, kožu i obojene metale.

Ugljenični čelici koji se koriste za izradu alata prikazani su tabelom T1.

Tabela T1

| Oznaka | Sastav (% C) | Upotreba |
|---------|--------------|--|
| Č. 1531 | 0,45 | čekići, sjekire, noževi, svrdla za drvo |
| Č. 1731 | 0,60 | čekići za kamen, pile, držala za alat |
| Č. 1740 | 0,80 | mehki čelik za vrlo žilav alat |
| Č. 1840 | 0,80 | žilav čelik za alat za obradu mehkog materijala |
| Č. 1841 | 0,80 | vrlo čvrst čelik za kose |
| Č. 1940 | 1,00 | žilav-tvrd čelik za alat koji treba da je prilično tvrd i odgovarajuće žilavosti |
| Č. 1943 | 1,20 | polutvrdi čelik za alat koji treba da je osobito tvrd uz manju žilavost |
| Č. 1948 | 1,30 | osobito tvrd čelik za najtvrdje male i srednje turpije |

Alatni legirani čelici koriste se za izradu reznih alata za ručnu obradu i za izradu alata za mašinsku obradu sa malim brzinama rezanja.

U novije vrijeme sve manje se, alatni legirani čelici, koriste za izradu reznih alata. Slaba zastupljenost može se pravdati slabom postojanošću rezne ivice alata na povišenim temperaturama (do 400 °C), što limitira brzinu rezanja koja je u ovom slučaju veoma mala.

Upotreba i smjernice kao i oznake alatnih legiranih čelika za izradu reznih alata dati su tabelom T2.

Tabela T2.

| Oznake čelika po JUS-u | Sadržaj u % | | | | | | Upotreba |
|------------------------|-------------|----|-----|-----|-----|--------|---|
| | C | Si | Cr | W | V | Mo | |
| Č. 6840 | 1,2 | - | - | 1,0 | - | - | Rezni alat sa malim brzinama rezanja: burgije, alati za rezanje navoja, glodala i alati za rendisanje |
| Č. 6841 | 1,2 | - | - | 1,4 | - | - | |
| Č. 6842 | 1,1 | - | 0,6 | 1,5 | 0,2 | - | |
| Č. 4140 | 0,8 | - | 0,9 | - | - | - | Jednostavniji alati za obradu obojenih metala |
| Č. 4143 | 1,5 | - | 0,8 | - | - | - | |
| Č. 3840 | 1,0 | - | - | - | 0,2 | 0,2 Mn | Za rezne alate za rezanje navoja za mašinski i ručni rad, razvrtači, turpije i mjerni alati |
| Č. 4840 | 1,4 | - | 1,6 | - | 0,2 | - | |

Brzorezni čelici spadaju u grupu visokolegiranih alatnih čelika, koji se koriste za izradu alata za mašinsku obradu sa većom brzinom rezanja, na osnovu čega su i dobili naziv brzorezni čelici. Alati od brzorezanih čelika odlikuju se većom postojanošću na povišenim temperaturama, do 600 °C, što omogućava veće brzine rezanja. Primjena i oznake brzorezanih čelika za izradu reznih alata dati su tabelom T3.

Tabela T3.

| Oznake čelika po JUS-u | Sadržaj u % | | | | | | Upotreba |
|------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | C | W | Co | Cr | V | Mo | |
| Č. 6880 | 0,75 | 1,8 | - | 4,0 | 1,0 | - | Za sve vrste alata za grubu i finu obradu, naročito za burgije, razvrtače, alate za rezanje navoja itd. |
| Č. 6882 | 0,85 | 12 | - | 4,0 | 1,0 | 0,8 | Za opću obradu i alate za odsijecanje |
| Č. 6980 | 0,8 | 18 | 5,0 | 4,0 | 1,5 | 0,7 | Za izradu alata koji služe za obradu tvrdih materijala sa većim brzinama rezanja |
| Č. 7680 | 0,8 | 6,5 | - | 4,0 | 1,8 | 5,1 | Za izradu alata od kojih se traži velika žilavost, otpornost na udare |

Tvrđi metali imaju široku primjenu za izradu reznih alata sa većim radnim brzinama. Postizanje većih brzina rezanja je rezultat veće postojanosti rezne ivice na povišenim temperaturama (do 1000 °C).

Tabela T4 Oznake, sadržaj i upotreba tvrdih metala

| ISO oznaka | Stara oznaka | WC | TiC | TaC | CO | Upotreba |
|------------|--------------|------|-----|-----|----|---|
| PO1 | F1 | 69 | 25 | - | 6 | Najfinija obrada struganja čelika sa velikim brzinama rezanja (100 m/min) ako je posmak $s = 0,5 - 1,0$ mm/o |
| P10 | S1 | 78 | 16 | - | 6 | Obrada čelika rezanjem sa šestorostrukom brzinom rezanja brzoreznog čelika manjim posmacima: od 1,0 mm/o uz miran rad |
| P20 | S2 | 78 | 14 | - | 8 | Obrada čelika sa četverostrukom brzinom rezanja brzoreznog čelika sa srednjim posmacima do 2 (mm/o) |
| P30 | S3 | 88 | - | - | 7 | Obrada čelika sa dvostrukom brzinom rezanja brzoreznog čelika i većim posmacima do 3 mm/o |
| K05 | H2 | 91,5 | - | 1,5 | 7 | Obrada rezanjem sivog liva, legura aluminijuma i umjetnih materijala |
| K10 | H1 | 94,0 | - | - | 6 | Obrada sivog liva (tvrdog) $HB > 200$, tvrdog čelika $\sigma_m < 180$ kN/cm ² legura aluminijuma i bakra |
| K20 | G1 | 94,0 | - | - | 6 | Obrada sivog liva $HB < 200$, legura aluminijuma, bakra, umjetnih materijala, keramike i drugo |
| K40 | G2 | 89,0 | - | - | 11 | Obrada rezanjem drveta, nemetala i vještačkih materijala |

Brzine rezanja kod alata sa pločicom od tvrdog metala (TM) veće su za 4 -10 puta od brzina rezanja alata od brzoreznih čelika.

Kod izrade alata od tvrdog metala držači se rade od konstrukcionih čelika, a sječiva (pločice) se rade od tvrdog metala. Vezivanje pločice za držač može se ostvariti mehaničkim putem (vijcima) i lemljenjem. Zbog jednostavnije i brže izmjene pločica vijčana veza je zastupljenija od veze ostvarene lemljenjem. Bitno je spomenuti da imaju dvije vrste tvrdih metala : liveni i sinterovani, što zavisi od elemenata koji ulaze u sastav tvrdih metala. Ti elementi su: karbid, volfram, vanadijum, titanov karbid i drugi.

Sinterovani aluminijum-oksidi dobija se sinterovanjem aluminijumovog oksida čistoće 99,98% , u praksi poznatog kao keramički materijal.

Keramičke pločice mogu se dobiti na dva načina i to : livenjem u toplom stanju i presovanjem praha Al_2O_3 .

Rezni alat sa pločicom od sinterovanog aluminijumovog oksida odlikuje se velikom postojanošću na povišenim temperaturama (do 1200 °C), velikom brzinom rezanja i malim troškovima izrade.

Najveći stepen iskorištenja keramičkih pločica postiže se pri završnoj obradi, gdje se i ostvaruje fina obrada, jer se na reznoj ivici ne stvaraju naslage čestica obratka.

Nedostatak keramičkih pločica je mala čvrstoća i velika krtošć.

Dijamant spada u grupu najkvalitetnijih materijala za obradu rezanjem a najpoznatiji je crni dijamant. Prema porijeklu može biti prirodni i vještački a prema boji bezbojni i obojeni.

Pri izradi reznih alata od dijamanta sječivo može biti u obliku pločice i u obliku praha za brušenje. Za dijamant je karakteristično da je veoma tvrd , krk i postojan na povišenim temperaturama (do 1800 °C). Kao takav koristi se za završne obrade pri velikim brzinama i malim posmacima obrade.

Pitanja za obnavljanje i uvrđivanje:

1. Šta se podrazumijeva pod opštim pojmom obrade?
2. Šta je to rezni alat?
3. Nabrojati osnovne vrste reznih alata.
4. Šta je to ugao rezanja?
5. Koja kretanja mogu biti pri procesu rezanja?
6. Šta je to brzina rezanja i u čemu se izražava?
7. Šta je to posmak (korak)?
8. Nabroj faze nastajanja strugotine.
9. Nabrojati vrste strugotine.
10. Navesti otpore rezanja.
11. Koja se sredstva koriste za hlađenje?
12. Šta je to emulzija?
13. Od kojih se materijala rade rezni alati?
14. Koji je glavni nedostatak keramičkih pločica?

2.2 ODSIJECANJE NA TESTERAMA

Obrada testerisanjem predstavlja jedan od jednostavnijih načina obrade rezanjem. Proizvodni ciklus bilo kojeg obratka u većini slučajeva počinje odsijecanjem.

Testerisanjem se može vršiti odsijecanje, rasijecanje i usijecanje. Pri obradi testerisanjem, testera izvodi glavno kretanje, koje može biti kružno (kada je alat u obliku nazubljenog diska) i pravolinijsko (kada je alat u obliku trake). Pomoćno kretanje je isključivo pravolinijsko, a izvodi ga alat, kod okvirnih i kružnih testera, dok kod trakaste testere ručno primicanje obratka čini pomoćno kretanje.

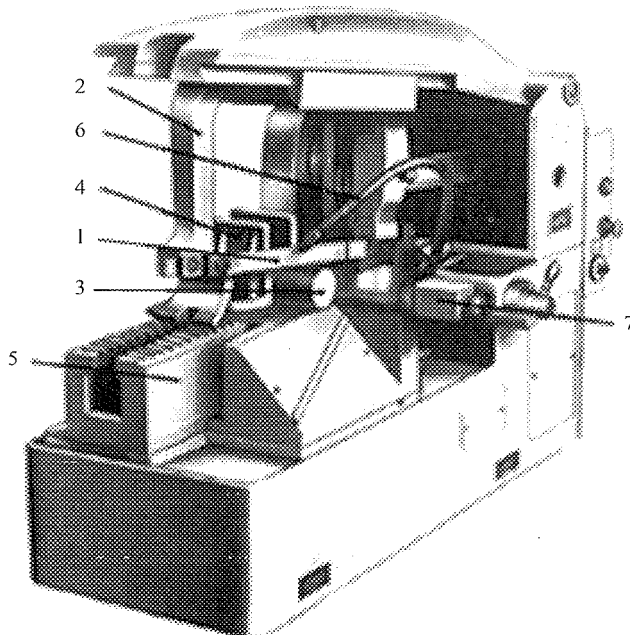
2.2.1 VRSTE I NAMJENA MAŠINSKIH TESTERA (PILA)

Mašinske testere mogu biti okvirne, kružne i trakaste, što zavisi koju vrstu reznog alata koriste.

Okvirne testere - služe za odsijecanje šipkastih materijala manjeg poprečnog presjeka. Za ovu vrstu testera može se reći da imaju malu produktivnost, te se najviše koriste za pojedinačnu proizvodnju.

Princip rada okvirne testere (Slika 2.11) zasniva se na pravolinijskom kretanju reznog alata. Rezni alat u obliku lista (1) smješten je na nosaču alata (okvir testere) (2). Pravolinijsko kretanje dobija se preko kulisnog mehanizma, a konstantan pritisak na predmet (3) ostvaruje se preko hidrauličnog uređaja. Stabilnost obratka obezbjeđuje se stegom (4), koja je smještena na postolju (5), na kojem je instaliran i sistem za hlađenje.

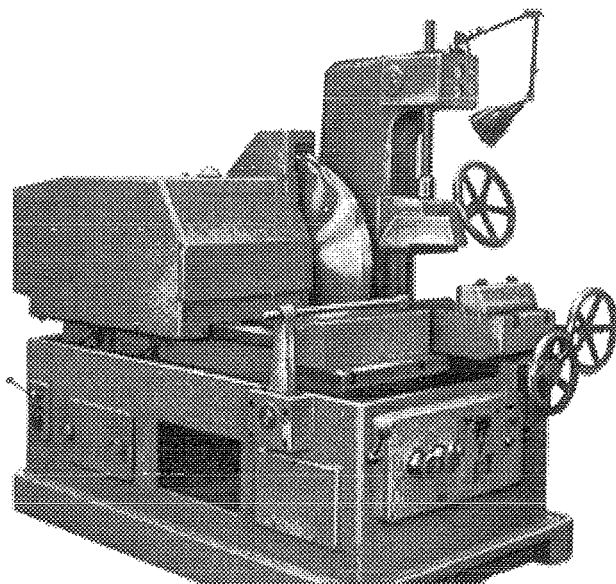
Da bi se dobila ista dužina obradaka neophodno je koristiti mehanički graničnik (7).



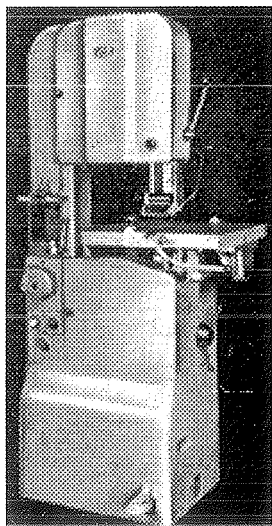
Slika 2.11 Okvirna testera

Kružne testere - Na ovim testerama (slika 2.12) vrši se odsijecanje šipkastih materijala većih prečnika. Zahvaljujući većoj radnoj brzini - brzini rezanja primjenjuju se u serijskoj proizvodnji.

Ove vrste testera razlikuju se od prethodnih, jer je kod ovih testera rezni alat u obliku diska i izvodi glavno kružno kretanje. Pomoćno pravolinijsko kretanje i princip rada su identični okvirnoj testeri.



Slika 2.12 Kružna testera



Slika 2.13 Trakasta testera

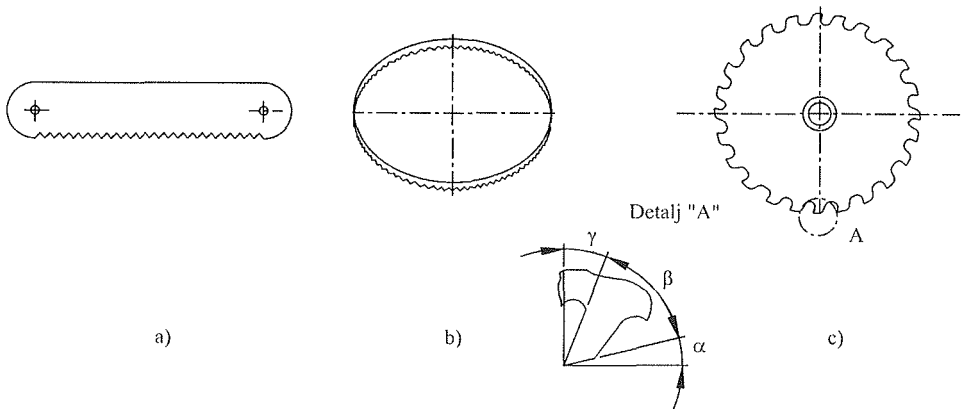
Trakaste testere - Za ovu vrstu testera karakteristično je da se koriste za odsijecanje materijala manjih dimenzija u pojedinačnoj proizvodnji.

Kod trakaste testere rezni alat je beskonačna traka, veoma male debljine (širina rezanja), koja izvodi glavno pravolinijsko kretanje. Beskonačna traka je prebačena preko dva točka od kojih je jedan pogonski a drugi gonjeni, i između njih se traka kreće u jednom smjeru. Dotezanje trake se vrši preko nosača gonjenog točka, a njeno pravolinijsko vođenje obezbjeđuju dva točkića, koji se nalaze na samom stroju. Na stolu testere se postavlja obradak za odsijecanje koji se može primicati reznom alatu ručno ili hidrauličnim putem, što zavisi od tipa stroja. Na Slici 2.13 dat je izgled trakaste testere.

2.2.2 STANDARDNI ALATI ZA OBRADU NA TESTERAMA

Rezni alat kod testera spada u grupu višesječnih alata, koji mogu biti u obliku:

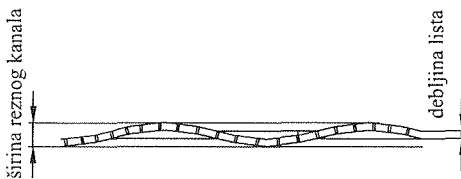
- lista,
- beskonačne trake,
- okrugle ploče (Slika 2.14).



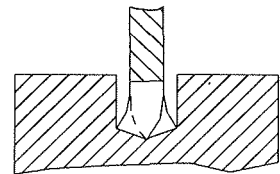
Slika 2.14 Osnovni oblici alata za testerisanje

Kod zuba reznog alata za testerisanje zastupljen je princip reznog klina koji ima: grudni ugao (γ), ugao klina (β) i leđni ugao (α) i njihov zbir čini 90° . Veličina ugla je različita, što zavisi od vrste testere i vrste materijala obratka. Kod lisnate i tračne testere grudni ugao se kreće od 0° - 5° , leđni od 30° - 40° , a kod kružne pile grudni ugao se kreće od 10° - 20° , a leđni od 5° - 8° .

Da ne bi došlo do zaglavljivanja testera pri odsijecanju, kod malih testera vrši se talasasto nabiranje (Slika 2.15), a kod velikih listova i tračnih testera vrši se savijanje zuba u lijevo i u desno (razmetanje) (Slika 2.16).



Slika 2.15 Talasasti raspored zuba testere

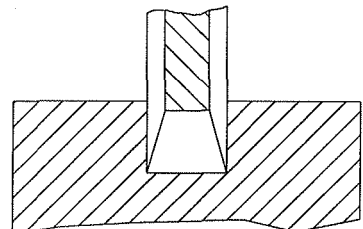


Slika 2.16 Savijeni zubi u lijevo i u desno (razmetanje)

Kod kružnih testera imamo dva različita slučaja:

- slučaj savijenih zuba u lijevo i u desno (razmetanje) (Slika 2.16) i
- slučaj kada je tijelo ploče tanje od zuba (Slika 2.17).

Slika 2.17 Primjer debljih zuba od tijela kružne testere.



2.2.3 ELEMENTI REŽIMA OBRADJE NA TESTERAMA

Režime obrade pri testerisanju čine:

- brzina rezanja,
- brzina pomoćnog kretanja (posmak) i
- širina rezanja.

Brzina pri testerisanju, kod kružne i trakaste testere, kreće se orijentaciono od 10 - 50 (m/min), što zavisi od vrste materijala obratka, vrste reznog alata (testere) i krupnoće zuba. Brzine rezanja okvirnom testerom date su tabelom T5.

Od debljine i vrste testere zavisi širina reza.

Tabela T5 Orijentacione vrijednosti brzine rezanja kod okvirne testere

| Tvrdoća materijala obratka N/mm ² | Brzina rezanja | | Broj duplih hodova u min. pri hodu pile (u min.) | | |
|---|----------------|--------|---|-----|-----|
| | srednja | najvća | 140 | 150 | 160 |
| 700 | 30 | 47 | 108 | 89 | 93 |
| 700.....1000 | 20 | 31,5 | 73 | 67 | 63 |
| 1000.....1300 | 14 | 22 | 50 | 47 | 43 |

2.3 OBRADA NA STRUGU

U metaloprerađivačkoj industriji strug se ubraja u jednu od zastupljenijih mašina alatki, na kojoj se uglavnom vrši obrada rotacionih predmeta. Na strugu se može vršiti obrada cilindričnih, koničnih i čeonih površina.

Kod struganja glavno kretanje je kružno i izvodi ga predmet obrade, dok u pomoćno kretanje ubrajamo sva ostala pravolinijska kretanja koja izvodi alat.

2.3.1 VRSTE I NAMJENA STRUGOVA

Obzirom na raznovrsnost operacija koje se izvode na strugu, neminovno se pojavljivala potreba za njihovom raznovrsnošću, tako da danas imamo više različitih vrsta. Podjelu strugova možemo izvršiti na osnovu konstrukcionog oblika, kao i na osnovu obima proizvodnje.

Prema konstrukcionom obliku razlikujemo sljedeće vrste strugova:

- strugove sa šiljcima ili paralelne strugove,
- vertikalne ili karusel strugove,
- čeone strugove,
- revolverске strugove,
- poluautomatske strugove i
- automatske strugove.

Prema obimu proizvodnje imamo sljedeće strugove:

- za pojedinačnu proizvodnju,
- za serijsku proizvodnju i
- za masovnu proizvodnju.

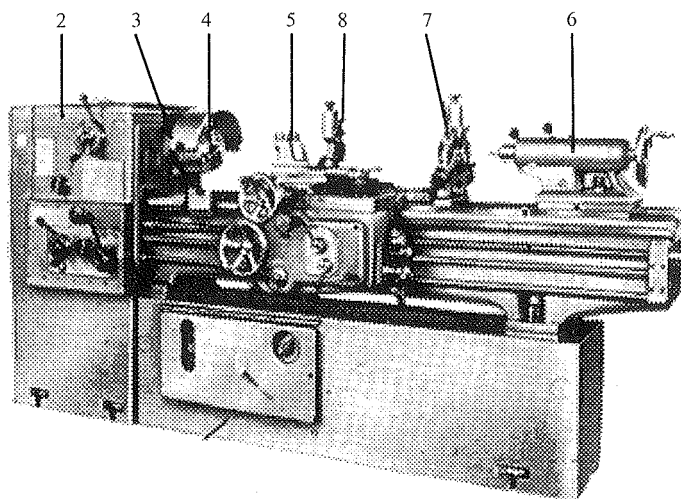
Strugovi sa šiljcima ili paralelni strugovi - Ovi strugovi se uglavnom koriste u pojedinačnoj proizvodnji, a mogu se uključiti i u serijsku proizvodnju uz prethodno snadbijevanje elementima za olakšavajuće stezanje obratka i reznog alata, kao i graničnicima za ograničavanje hoda.

Strug sa šiljcima dobio je ime zbog posjedovanja šiljaka i mogućnosti obrade između šiljaka, a paralelni strug dobio je ime zbog paralelnog kretanja reznog alata u odnosu na obradak.

Prema mogućnosti izvršenja i raznovrsnosti operacija ovu grupu možemo dalje dijeliti na obične (produkcione) i univerzalne strugove.

Kod običnih strugova nema vučnog (zavojnog) vretena, pa se na njima ne može rezati navoj, što nije slučaj za univerzalne strugove. Na Slici 2.18 prikazan je jedan od tipova univerzalnog struga sa tehničkim karakteristikama.

Postolja (1) predstavlja glavni oslonac ostalim dijelovima struga. Na gornjem dijelu postolja nalaze se klizne površine (vođice), a na lijevoj strani oslanja se kućište u kojem je smješteno vretenište (2) sa zadatkom da obrtni moment elektromotora prenese na radno vreteno (3). Radno vreteno je šuplje po čitavoj dužini, a na samom vrhu veže se stezna glava (4) koja može biti sa tri ili četiri pakne. Na kliznim površinama leži nosač alata (suport) (5) preko kojeg se vrše sva pomoćna kretanja i na sebi nosi pričvršćene rezne alate. Na kraju vođica nalazi se konjić (6) sa šiljkom, koji se koristi za obradu dugačkih obradaka i za smještaj alata pri zabušivanju i bušenju. Kod struganja dugačkih obradaka koriste se linete koje mogu biti stojeće i pokretne (7) i (8).

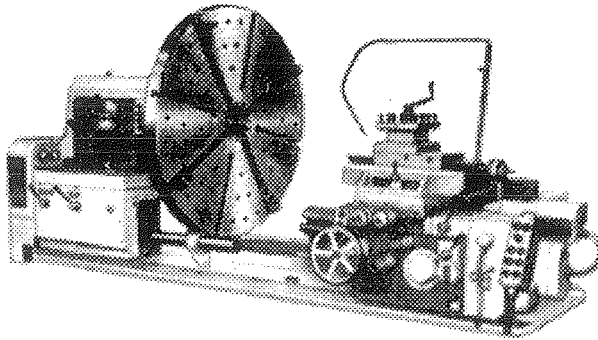


UNIVERZALNA TOKARILICA

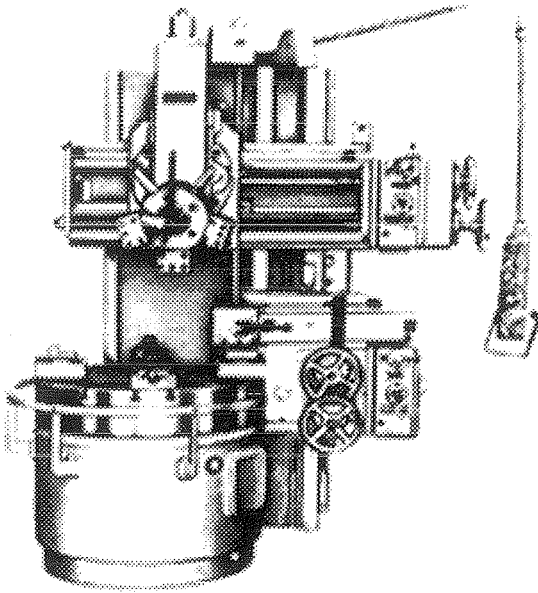
| | |
|--|---------------------|
| Visina šiljaka | 180/220 |
| Promjer tokarenja nad posteljom | 355/400 |
| Promjer tokarenja u prostoru mosta | 540/580 |
| Provir glavnog vretena | 36/46 |
| Broj brzina glavnog vretena | 18 |
| Opseg broja okretaja gl. vretena | 18 – 2500 o/min |
| Snaga elektro-motora | 5,5 kW |
| Razmak šiljaka | 800/1250/1600/2000 |
| Neto težina cca kg | 1955/2140/2290/2460 |

Slika 2.18 Univerzalni strug

Čeoni strugovi - koriste se u pojedinačnoj proizvodnji za poprečno struganje obradaka velikih prečnika a male visine kao što su zupčanici, kućišta, točkovi, zamajci, kaišnici itd. Kod ovih strugova nema konjića, a ostale dijelove ima kao i obični strug. Klizne površine (vođice), poprečno su postavljene u odnosu na radnu ploču. Na kliznim površinama smješten je nosač alata koji može vršiti poprečno dugo kretanje, gledano u odnosu na radnu ploču, i uzdužno kratko kretanje. Nedostatak ovih strugova je što imaju mali broj obrtaja zbog velikih prečnika obradaka, a samim tim veliki obrtaci otežavaju i zahtijevaju više vremena za stezanje i centriranje, te se time ograničava njihova tačnost. Da bi se ubrzao proces postavljanja obratka na radnu ploču, potrebno je na radnom mjestu obezbijediti dizalicu.



Slika 2.19 Čeoni strug



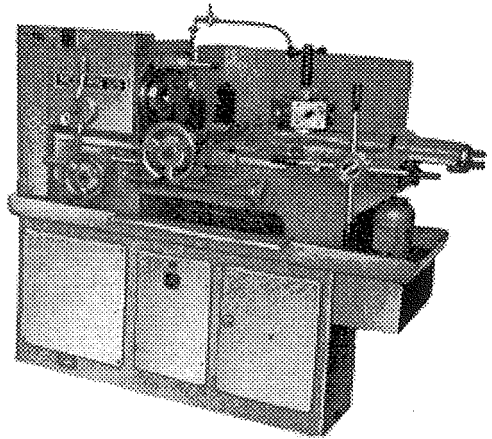
Slika 2.20 Vertikalni strug

Vertikalni ili karusel strug - kao i čeoni koristi se za obradu velikih i teških obradaka u pojedinačnoj proizvodnji i u potpunosti može zamijeniti čeoni strug. Kod ovog struga radna ploča stoji horizontalno, što omogućava lakše postavljanje, stezanje, i centriranje obratka. Osa radne ploče kod ovog struga je vertikalna, po čemu je i dobio ime vertikalni strug ili karusel (Slika 2.20).

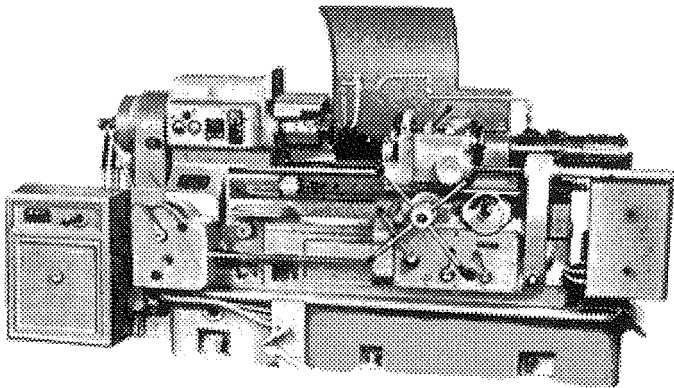
Na horizontalnom kliznom nosaču mogu biti postavljeni jedan ili dva nosača alata, koji imaju mogućnost kretanja po horizontalnim i vertikalnim kliznim površinama. Na nosaču alata može se postaviti i revolverska glava, kojom se povećava produktivnost obrade. Nedostatak ovih strugova je slabo odvođenje strugotine.

Revolverski strug - Ovaj strug ima široku primjenu za obradu sitnih obradaka iz šipkastih materijala u serijskoj proizvodnji. Produktivnost ovog struga povećana je posjedovanjem revolverske glave po kojoj je dobio ime revolverski strug.

U revolverskoj glavi smješta se veći broj reznih alata koji se lahko i brzo mijenjaju. Prema položaju revolverske glave imamo dva osnovna tipa struga i to: strug sa horizontalnom (Slika 2.21) i strug sa vertikalnom revolverskom glavom (Slika 2.22). Kod struga sa horizontalnom revolverskom glavom postoji nosač alata sa poprečnim pomjeranjem, a smješten je na kliznim površinama (vođicama struga).



Slika 2.21 Horizontalni revolverski strug

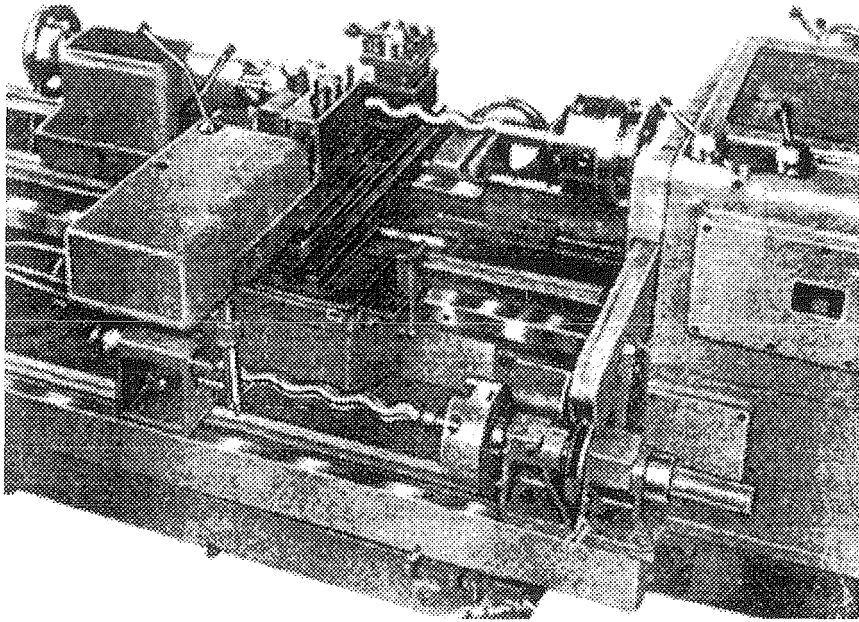


Slika 2.22 Vertikalni revolverski strug

Kopirni strugovi - su ustvari obični strugovi sa dodatnim uređajem za kopiranje. Primjenom ovog uređaja povećava se produktivnost struga, pa iz tog razloga ima veću primjenu u serijskoj proizvodnji. Prije početka obrade na ovom strugu, potrebno je uraditi šablon ili prototip budućeg obratka.

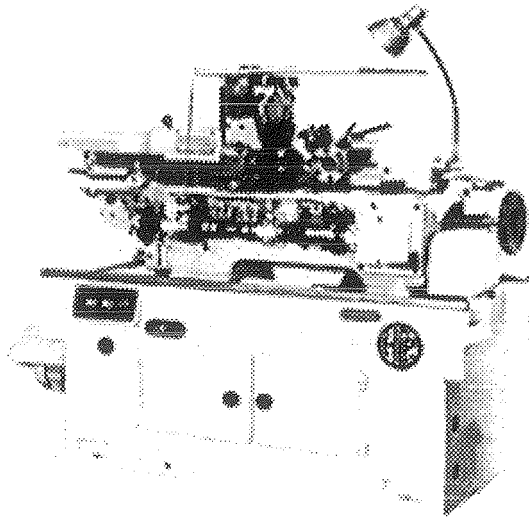
Šablon se postavlja i pričvršćuje između šiljaka na saonicama, koje se nalaze sa ledne strane struga. Ovo postavljanje šablona je paralelno obratku. Obradak se postavlja u steznu glavu i osigurava šiljkom konjića. Uređaj za kopiranje koji može biti hidraulični ili elektrohidraulični, na jednom kraju ima iglu, a na drugom rezni alat. Pri obradi, igla kopirnog uređaja kreće se uzdužno po vanjskoj konturi šablona. Ovo kretanje se prenosi preko kopirnog uređaja na rezni alat koji se kreće uzdužno po obratku i time se prenosi kontura šablona na obradak.

Poluautomatski strug - upotrebljava se u masovnoj proizvodnji za izradu predmeta koji su prethodno oblikovani kovanjem, livenjem ili presovanjem.



Slika 2.23 *Kopirni strug*

Prije nego što počne proces izrade potrebno je pripremiti mašinu, tj. rezni alat postaviti u revolverski nosač alata za svaku operaciju takvim redosjedom da odgovara tehnološkom postupku. Promjena reznog alata za naredni zahvat vrši se automatski preko revolverске glave i ovaj ciklus se odvija sve do završetka operacije kada se strug sam zaustavlja.



Slika 2.24 *Pohuautomatski strug*

Po zaustavljanju struga, radnik vrši promjenu obratka i ponovno pokretanje mašine. Ovo učešće ručnog rada radnika u procesu izrade predmeta čini strug poluautomatskim (Slika 2.24).

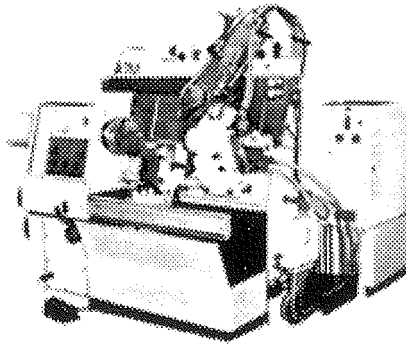
Pokretanjem konjića po kliznim površinama kao i stezanje obratka stezaljkama u steznoj glavi vrši se automatski. Poluautomatski strug može imati jedno ili više radnih vretena.

Automatski strug - Na automatskim strugovima (Slika 2.25), vrši se obrada predmeta iz šipkastih materijala različite debljine. Pogodni su za rad u visokoserijskoj proizvodnji. Automatski strugovi razlikuju se od poluautomatskih po tome što se kod njih vrši automatsko preuzimanje materijala, stezanje, i ponovno uključivanje u rad.

Kod automatskih strugova razlikujemo:

- jednovretene, na kojima se vrši obrada jedne šipke,
- viševretene, gdje se istovremeno vrši obrada više šipki.

Kao dobre osobine automatskih strugova mogu se istaći njihova produktivnost i lahko opsluživanje, tako da može priučeni radnik istovremeno opsluživati više mašina.

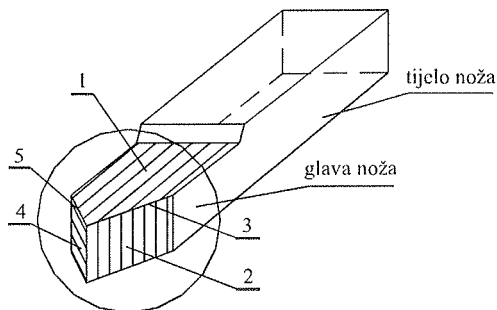


Slika 2.25 Automatski strug

2.3.2 STANDARDNI ALAT ZA OBRADU NA STRUGU

Kod obrade na strugu, kao osnovni rezni alat koristi se strugarski nož. Na Slici 2.26 aksonometrijski je prikazan nož za struganje, koji se sastoji iz dva dijela:

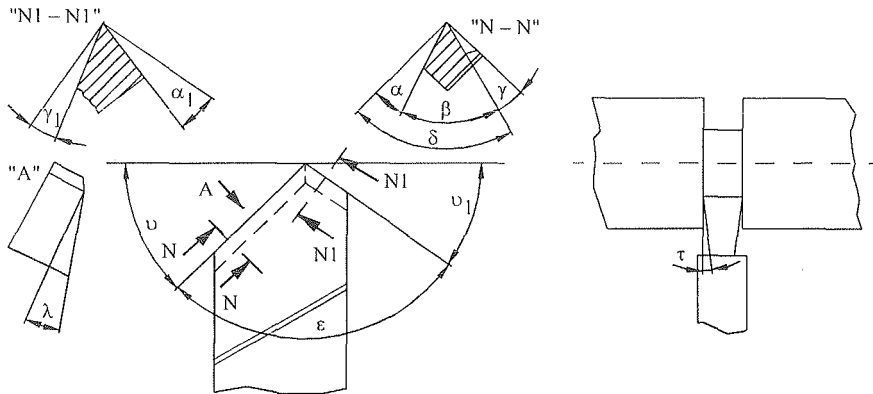
- glave, koju sačinjavaju rezne ivice,
- tijela, koje služi za pričvršćivanje noža.



Slika 2.26 Elementi strugarskog noža

Na glavi noža se razlikuju sljedeće površine:

- grudna površina (1) po kojoj klizi odvojena strugotina,
- leđna površina (2), okrenuta površini rezanja,
- glavno sječivo (3), presjek grudne i leđne površine,
- pomoćna leđna površina (4) okrenuta obrađenoj površini,
- pomoćno sječivo (5), presjek grudne i pomoćne leđne površine.

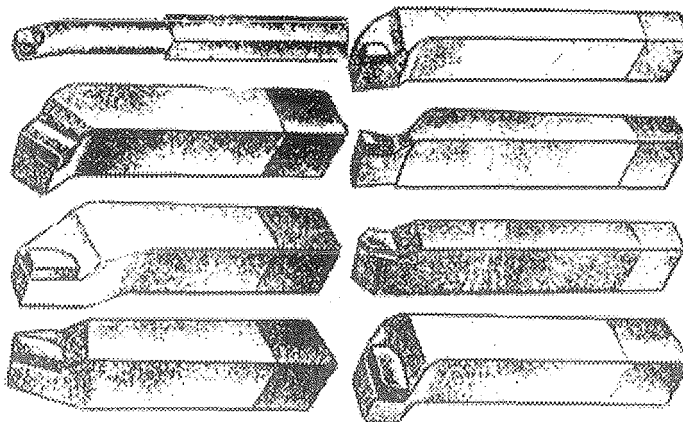


Slika 2.27 Uglovi kod strugarskog noža

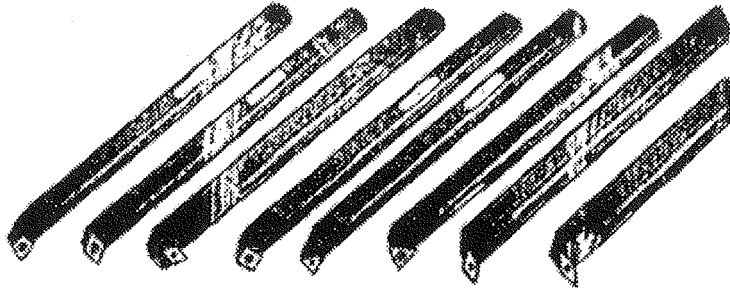
Uglovi kod strugarskog noža su sljedeći: α - leđni ugao, γ - grudni ugao, β - ugao klina, χ - napadni ugao, χ_1 - pomoćni napadni ugao, ϵ - ugao vrha noža, λ - ugao nagiba sječiva, γ_1 - pomoćni grudni ugao, δ - ugao rezanja, α_1 - pomoćni leđni ugao, τ - bočni ugao i r - radijus zaobljenja vrha noža.

Prema konstrukcionom obliku strugarski noževi mogu biti:

- noževi izrađeni od jednog komada,
- noževi sa zalemljenom pločicom (Slika 2.28),
- noževi sa pločicama koji se vezuju vijkom za tijelo (Slika 2.29).

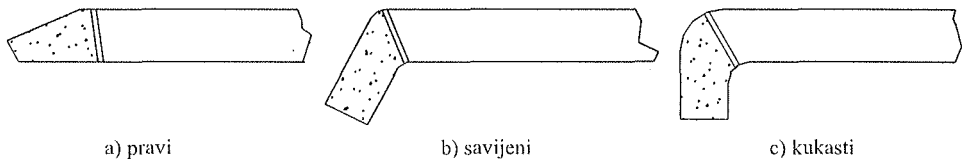


Slika 2.28 Noževi sa zalemljenim pločicama



Slika 2.29 Noževi sa pločicama koji se vezuju vijcima za tijelo

Prema obliku glave noževi mogu biti: pravi, savijeni i kukasti (Slika 2.30).



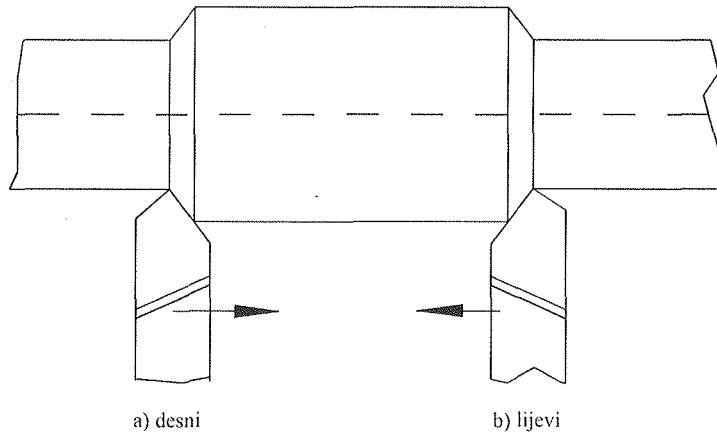
a) pravi

b) savijeni

c) kukasti

Slika 2.30 Vrste strugarskih noževa

Prema pravcu kretanja (Slika 2.31) mogu biti: lijevi i desni.



a) desni

b) lijevi

Slika 2.31 Oblik noža prema položaju sječiva

Prema klasi obrađene površine mogu biti:

- noževi za grubu obradu,
- noževi za finu obradu.

Prema površinama koje se obrađuju mogu biti:

- noževi za spoljašnju obradu,
- noževi za unutrašnju obradu.

2.3.3 ELEMENTI REŽIMA OBRADE NA STRUGU

Elemente režima obrade pri struganju čine:

- broj obrtaja ,
- brzina rezanja,
- korak (posmak),
- dubina rezanja.

Prije određivanja režima obrade kod struganja neophodno je uzeti u obzir sljedeće faktore: vrstu materijala obratka, vrstu reznog alata, klasu obrađene površine i način stezanja obratka. Elementi režima obrade najčešće se odabiraju iz tabela, u kojima su date orijentacione vrijednosti brzine rezanja i koraka usklađene sa vrstom materijala obratka i alata.

Do elemenata režima obrade može se doći i računskim putem.

Brzina rezanja i korak su u zavisnosti jedno od drugoga. Sa povećanjem brzine rezanja smanjuje se korak i obrnuto.

Tabela T6 Orijetacione vrijednosti brzine rezanja pri struganju

| Obradivani materijal | | Nož | | | Brzina rezanja (m/min) | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|------------|--------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| vrsta | čvrstoća N/mm ² | Tvrđi metal | prednji kut i kut nagiba (°) | | | pri posmaku (mm/ okr) | | | | |
| | | | γ | γ_f | λ | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 1,6 |
| Čelični liv | <520 | P10 | 8 | - | 0 4 | 135 | 110 | 95 | 80 | - |
| | | P30 | 6 | -5 | 510 | - | - | 40 | 32 | 27 |
| | 520..700 | P10 | 6 | - | 0 4 | 110 | 90 | 75 | 65 | - |
| | | P30 | 6 | -5 | 5 10 | - | - | 30 | 25 | 22 |
| | > 700 | P10 | 6 | - | 0 4 | 70 | 60 | 50 | 45 | - |
| | | P10 | 6 | -7 | 5 4 | - | - | 20 | 17 | 14 |

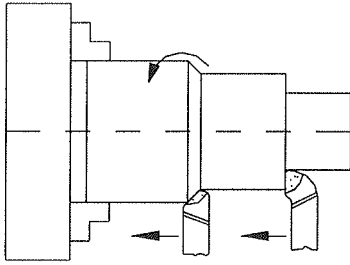
2.3.4 VRSTE RADOVA NA STRUGU

Na strugu se može izvoditi niz različitih operacija. Prema kvalitetu obrađene površine razlikujemo dvije obrade i to: grubu i finu.

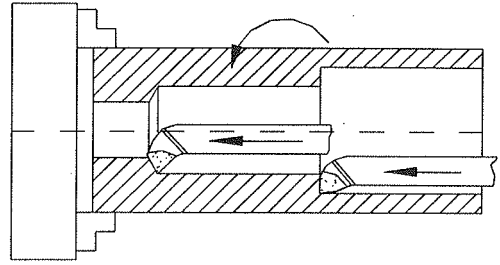
Operacije koje se izvode na strugu su: uzdužno struganje, poprečno (čeo) struganje, odsijecanje, obrada konusa, obrada navoja, bušenje itd.

Za sve različite operacije potreban je i različit rezni alat.

Uzdužno struganje (Slika 2.32) može biti spoljašnje (a) i unutrašnje (b) .



a) spoljašnje struganje



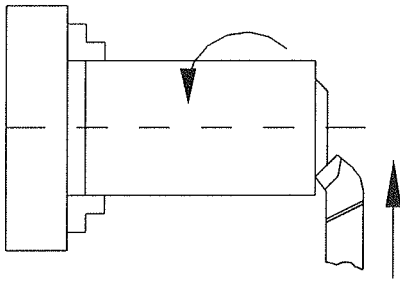
b) unutrašnje struganje

Slika 2.32 Uzdužno struganje

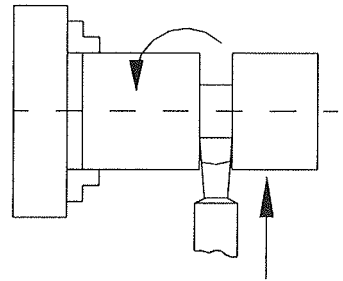
Kod uzdužnog struganja pričvršćivanje obratka može biti: u steznoj glavi, između šiljaka i u steznoj glavi sa oslanjanjem na linetu. Koji će se način pričvršćivanja primijeniti zavisi od same veličine obratka i vrste obrade.

Poprečno (čeno) struganje (Slika 2.33), primjenjuje se kod poravnavanja čeonih površina obratka. Kod ove operacije pričvršćivanje obratka je isključivo u steznoj glavi.

Odsijecanje (Slika 2.34) se izvodi najčešće na revolverskim strugovima. Širina reza zavisi od širine reznog alata. Pričvršćivanje se vrši u steznoj glavi.



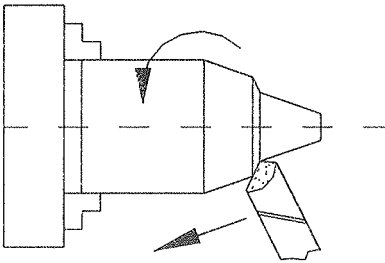
Slika 2.33 Poprečno (čeno) struganje



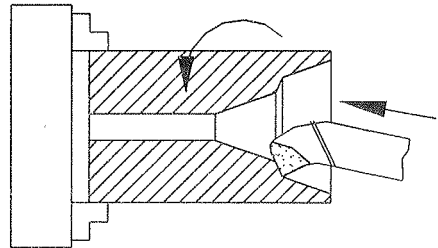
Slika 2.34 Odsijecanje

Obrada konusa (Slika 2.35). Kod ove obrade alat izvodi kretanje pod nekim uglom u odnosu na osu obratka. Ovo kretanje može se obezbijediti zakretanjem nosača alata, bočnim pomjeranjem konjića i kopiranjem.

Pričvršćivanje predmeta obrade je identično uzdužnom struganju.



a) spoljašnje struganje konusa



b) unutrašnje struganje konusa

Slika 2.35 Obrada konusa

Radijalne bušilice. Na ovim bušilicama mogu se bušiti rupe do ϕ 40 mm, na teškim obradcima sa velikom tačnošću. Ove bušilice karakteriše mogućnost bušenja više rupa na obradku bez njegovog pomjeranja, a to se postiže preko konzole (1) (Slika 2.40). Konzola se veže za vertikalni stub (2), a pokreće se pravolinijski po vertikali stuba i kružno po horizontali oko stuba za 360^0 . Po kliznim površinama konzole pokreće se nosač alata (3) sa elektromotorom (4) koji daje pogon reznom alatu (5), preko sistema zupčanika.

Postavljanje obratka na radni sto, kao i princip rada identičan je prethodnim bušilicama.

Obzirom da se radi o teškim obradcima neophodno je radno mjesto snabdjeti dizalicom.

Koordinatne bušilice ubrajaju se u grupu specijalnih bušilica, na kojima se postiže velika tačnost bušenja, bez prethodnog obilježavanja na obratku. Kod ovih bušilica vrše se kombinovani pokreti reznog alata i radnog stola sa obratkom, kako bi se rezni alat doveo u osu buduće rupe. Kod koordinatne bušilice (Slika 2.41) prikazani su međusobno normalni pokreti, nosača reznog alata (1) koji se pokreće po horizontalnom nosaču (2), a sve skupa po vertikalnim stubovima (3).

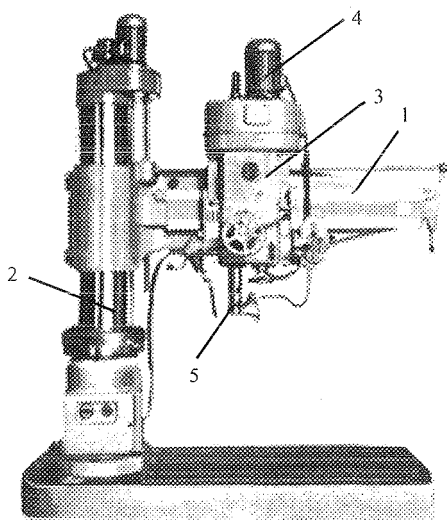
Radni sto (4) sa obratkom ima horizontalno kretanje - normalno na pravac kretanja reznog alata. Veličina pomjeranja očitava se na veoma preciznim optičkim uređajima.

Koordinatna bušilica dobila je ime po tome što su svi pokreti paralelni koordinatnim osama.

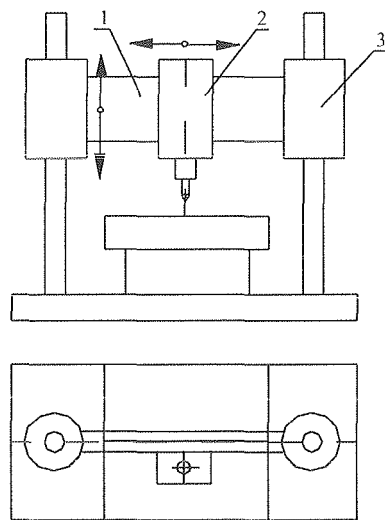
F

1
2
3
4
5
6
7
8
9

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19

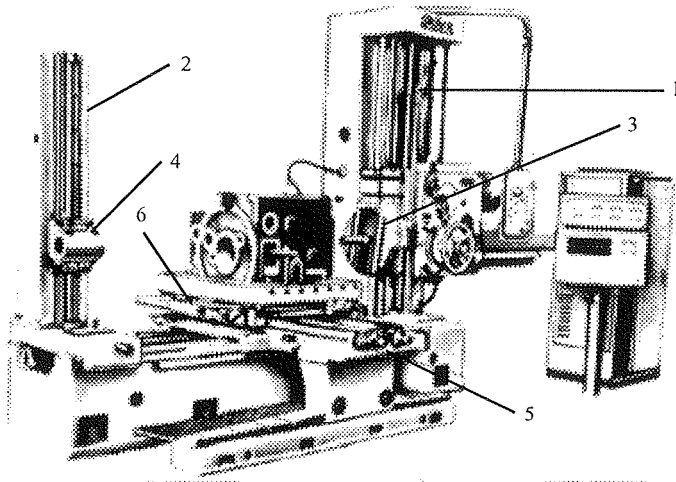


Slika 2.40 Radijalna bušilica



Slika 2.41 Šema koordinatne bušilice

Horizontalne bušilice su namijenjene za bušenje teških i dugačkih obradaka, na kojima se zahtijeva veća tačnost obrade. Na horizontalnim bušilicama pored bušenja može se vršiti : struganje , glodanje , rezanje navoja itd. Ime su dobile po horizontalnom položaju radnog vretena. Na Slici 2.42 prikazana je horizontalna bušilica koju karakteriše dva vertikalna stuba od kojih je jedan glavni (1), a drugi pomoćni (2). Na glavnom stubu nalazi se nosač reznog alata (3) koji ima mogućnost podizanja i spuštanja, a na pomoćnom stubu smješten je pomoćni ležaj (4) na kojem se oslanja produženo radno vreteno. Između stubova na postolju (5) oslanja se radni sto (6), koji ima mogućnost polukružnog (do 180^0), poprečnog i uzdužnog kretanja.



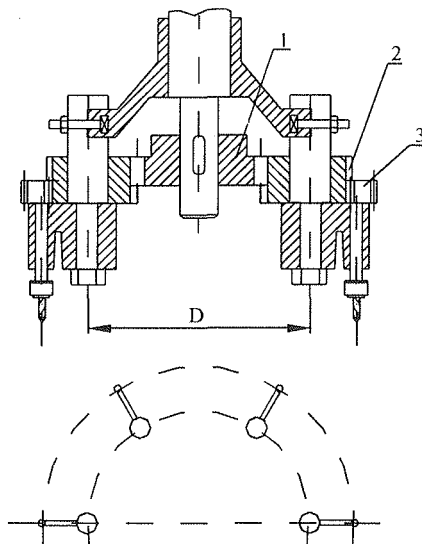
Slika 2.42 Horizontalna bušilica

Viševretene bušilice. Ove bušilice odlikuje mogućnost istovremenog bušenja više rupa na obratku, pa kao takve koriste se u serijskoj i masovnoj proizvodnji.

Razlikujemo dva tipa viševretenih bušilica i to:

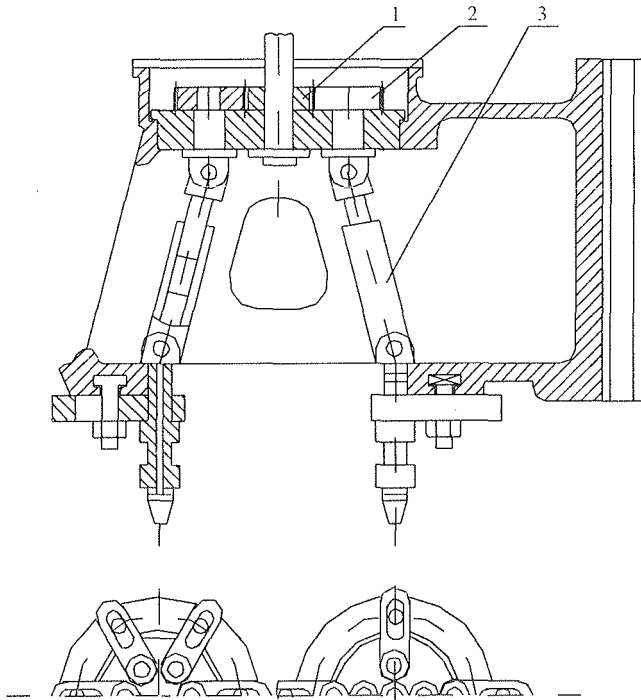
- bušilice sa glavom za bušenje i
- bušilice sa nosačem radnih vretena.

Na glavnim vretenima postavljaju se glave viševretene bušilice (Slika 2.43) koje imaju zajednički pogon. Sa centralnog zupčanika (1) pokreću se zupčanici (2) koji su u sprezi sa zupčanicima (3) i nalaze se na vretenima za bušenje. Broj vretena kod viševretene bušilice kreće se do 30, a međusobno rastojanje može se podešavati po potrebi.



Slika 2.43 Viševretena glava

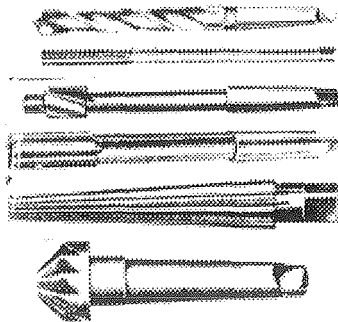
Kao kod prethodnog tipa i ove bušilice sa nosačem radnih vretena (Slika 2.44) dobijaju pogon preko centralnog zupčanika (1). Pogon se sa zupčanika (1) prenosi na zupčanike (2), koji prenose obrtni moment na radna vretena reznih alata. Raspored položaja radnih vretena vrši se po potrebi preko teleskopskog vratila (3), zajedno sa kardanskim zglobovima.



Slika 2.44 Konstrukcija nosača radnih vretena viševretene bušilice

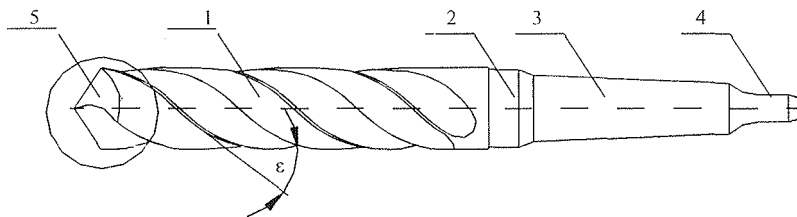
2.4.2 STANDARDNI ALAT ZA OBRADU NA BUŠILICI

Pri obradi na bušilicama koriste se sljedeći rezni alati (Slika 2.45): burgije, razvrtači, upuštači i ureznici.



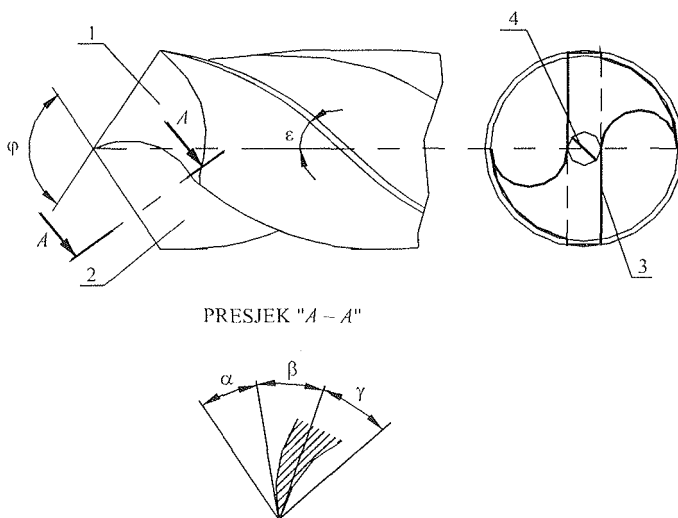
Slika 2.45 Viste alata za obradu na bušilicama

Osnovni rezni alat pri bušenju je spiralna burgija (Slika 2.46), koja se sastoji iz tijela (1), vrata (2), drške (3), uške (4) i vrha (5). Tijelo burgije sastoji se iz dva zavojna žljeba, koji služe za odvod strugotine i dovod sredstva za hlađenje. Drška može biti cilindrična ili konična, što zavisi od veličine burgije.



Slika 2.46 Spiralna burgija

Na vrhu burgije mogu se razlikovati sljedeći elementi (Slika 2.47): leđna površina (1), grudna površina (2), glavno sječivo (3) i pomoćno sječivo (4).



PRESJEK "A - A"

Slika 2.47 Elementi vrha burgije

Na presjeku $A - A$ prikazani su sljedeći uglovi: α - leđni ugao, β - ugao klina i γ - grudni ugao, čiji je zbir 90° . Ugao vrha burgije dobija se presjekom glavnih sječiva i kreće se:

- za čelik i liveno gvožđe od $116 - 118^{\circ}$;
- za mesing i bronzu od $130 - 140^{\circ}$;
- za aluminijске legure 140° itd.

Ugao uspona zavojnice ω - obrazuje zavojna linija žljeba i osa burgije i kreće se od $10 - 45^{\circ}$. Veličina ovih uglova zavisi od vrste materijala obratka.

2.4.3. ELEMENTI REŽIMA OBRADJE NA BUŠILICAMA

Elemente režima obrade pri bušenju čini: brzina rezanja i brzina pomoćnog kretanja (korak).

Brzina rezanja kod bušenja je različita, a ona zavisi od udaljenosti posmatrane tačke na sječivu. Što je udaljenost posmatrane tačke veća od ose reznog alata, time je brzina veća i obrnuto. Kod bušenja brzina rezanja računa se za najudaljeniju tačku reznog alata, horizontalno udaljenu od ose datog alata.

Brzina rezanja može se izračunati po obrascu, uz uslov da je poznat broj obrtaja:

$$v = d \pi n / 1000 \quad (\text{m/min})$$

Gdje su : d - prečnik burgije (mm) i n - broj obrtaja burgije (min^{-1}).

Brzina pomoćnog kretanja (korak) je, ustvari, napredovanje alata u smjeru kretanja. Obrazac za korak (posmak) :

$$v_s = s n \quad (\text{m/min})$$

Gdje je: s - korak (mm/o) i n - broj obrtaja burgije (min^{-1})

Obzirom da burgija ima dva sječiva, korak za jedno sječivo bit će $s_1 = s/2$ (mm).

Elementi režima obrade većinom se uzimaju iz tabela u kojima su date orijentacione vrijednosti, kao na primjer iz tabele T7.

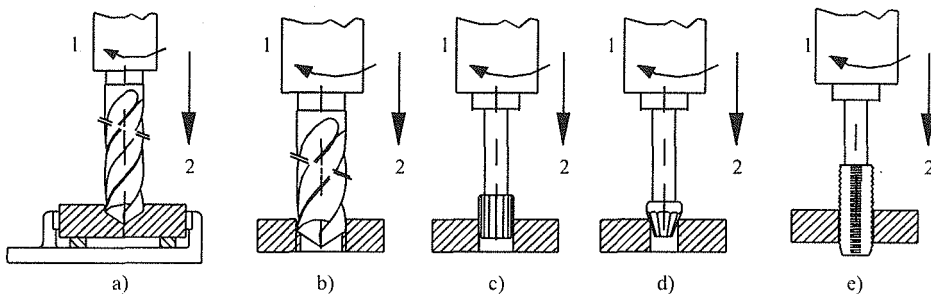
Tabela T7 Brzina rezanja pri bušenju burgijom od brzoreznog čelika

| Obradivani materijal | Brzina rezanja m/min | Brzina vrtnje n i posmak f | Promjer svrdla d (mm) | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | 6.3 | 10 | 16 | 25 | 40 | 63 |
| čelik 500 N/mm | 35,5 | n o min^{-1} | 1800 | 1120 | 710 | 450 | 280 | 180 |
| | | s mm/o | 0,16 | 0,20 | 0,25 | 0,32 | 0,40 | 0,50 |
| čelik 700 N/mm | 22,4 | n o min^{-1} | 1120 | 710 | 450 | 280 | 180 | 112 |
| | | s mm/o | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,20 | 0,25 | 0,32 |
| legirani čelik | 11,2 | n o min^{-1} | 560 | 355 | 224 | 140 | 90 | 56 |
| | | s mm/o | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,20 | 0,25 |
| sivi lijev do SL 20 | 28,0 | n o min^{-1} | 1400 | 900 | 560 | 355 | 224 | 140 |
| | | s mm/o | 0,18 | 0,22 | 0,28 | 0,36 | 0,45 | 0,56 |
| sivi lijev do SL 25 | 18,0 | n o min^{-1} | 900 | 560 | 355 | 224 | 140 | 90 |
| | | s mm/o | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,28 | 0,36 | 0,45 |

2.4.4 VRSTE RADOVA NA BUŠILICAMA

Na bušilicama se izvode sljedeće operacije (Slika 2.48): bušenje (a), proširivanje (b), razvrtnje (c), upuštanje (d) i urezivanje navoja (e).

Kod rupa gdje se zahtijeva bolji kvalitet obrade i veća tačnost, neophodno je izvršiti razvrtnje uz prethodno bušenje i proširivanje rupa na predmjeru za razvrtnje. Upuštanje rupa može biti cilindrično i konično. Cilindrično upuštanje rupa primjenjuje se kod izrade gnijezda za smještaj glave zavrtnja ili zakovice, a konično upuštanje rupa primjenjuje se za obaranje ivice kao priprema za urezivanje navoja.



Slika 2.48 Vrste operacija koje se izvode na bušilicama

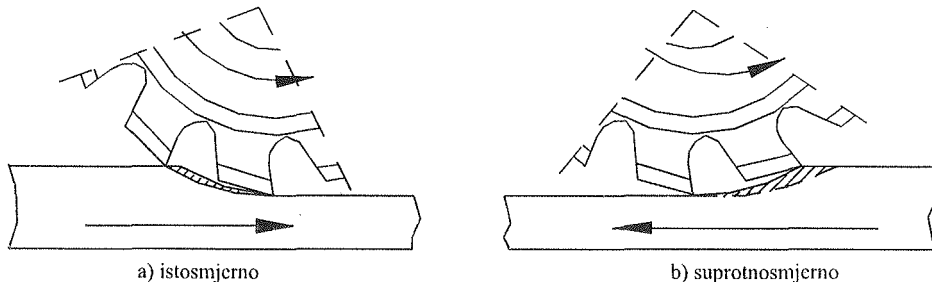
Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Kakve sve mogu biti bušilice?
2. Koja je prednost radialne bušilice u odnosu na stubnu?
3. Koja je prednost koordinatne bušilice u odnosu na ostale?
4. Koje se operacije mogu izvoditi na horizontalnoj bušilici?
5. Koji se rezni alat koristi za obradu na bušilicama?
6. Koji su glavni dijelovi burgije?
7. Nabrojati elemente režima obrade pri bušenju.
8. Koje se operacije mogu izvoditi na bušilicama?

2.5 OBRADA NA GLODALICAMA

Glodalice su visokoproduktivne mašine alatke, koje imaju široku primjenu u serijskoj i masovnoj proizvodnji. Pri obradi glodanjem koristi se višesječni rezni alat - glodalo. Kod glodalica glavno kretanje je kružno i izvodi ga alat, a pomoćno kretanje je pravolinijsko i može biti: uzdužno, poprečno i vertikalno. U zavisnosti od međusobnog položaja reznog alata i obratka pri glodanju razlikuju se dvije metode obrade:

- istosmjerno glodanje,
- suprotnosmjerno glodanje.



Slika 2.49 Metode glodanja

Kod istosmjernog glodanja rezni alat i obradak imaju isti smjer kretanja. Ovu metodu karakteriše dobra postojanost alata, miran rad (bez vibracija), veća dubina rezanja, dobar kvalitet obrađene površine i veća brzina rezanja.

Suprotnosmjerno glodanje je metoda gdje alat ima suprotan smjer u odnosu na pomoćno kretanje obratka.

Ova metoda u odnosu na prethodnu ima sljedeće nedostatke: malu postojanost reznog alata, vibracije pri radu, malu brzinu rezanja i lošiji kvalitet obrađene površine.

2.5.1 VRSTE I NAMJENA GLODALICA

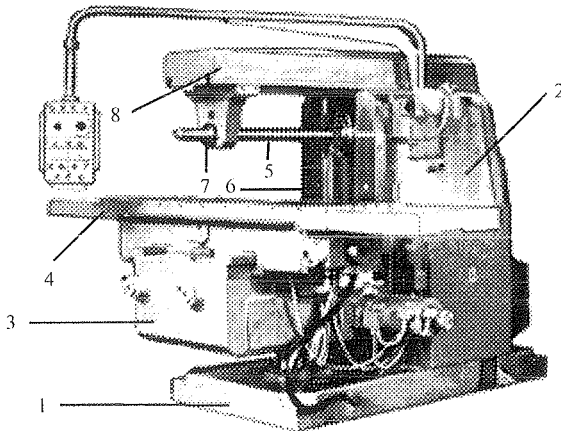
Na glodalicama se može vršiti obrada ravnih površina, žljebova, zupčanika, lančanika i slično.

Prema položaju radnog vretena razlikuju se: horizontalne i vertikalne glodalice. Prema konstrukciji i načinu rada razlikujemo sljedeće glodalice: obične, univerzalne i specijalne.

Horizontalne glodalice - spadaju u grupu običnih glodalica. Horizontalni položaj radnog vretena je osnovna karakteristika, po čemu su i dobile ime horizontalne glodalice.

Kod horizontalne glodalice (slika 2.50) osnovne elemente čine: postolje (1) na kojem se oslanja vertikalni stub (2), na koji se veže nosač radnog stola (3).

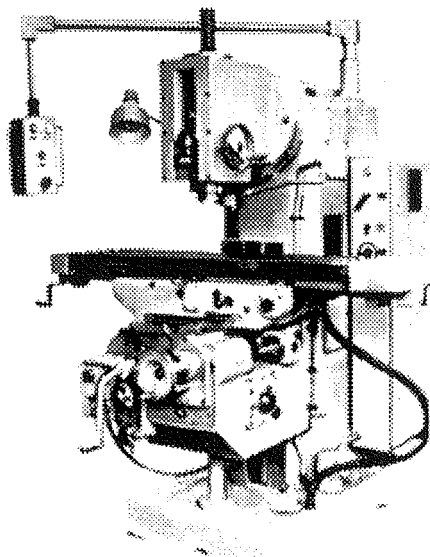
Na nosaču leži radni sto (4) koji ima mogućnost uzdužnog i poprečnog pomjeranja, a vertikalno pomjeranje ostvaruje se preko nosača radnog stola. Radno vreteno (5) oslanja se na glavni (6) i pomoćni ležaj (7), dok se pomoćni ležaj veže i za konzolu (8). Glodalo se postavlja na radno vreteno, a obradak na radni sto.



Slika 2.50 Horizontalna glodalica

Vertikalne glodalice. Kao i prethodne glodalice spadaju u grupu običnih glodalica. Kod ovih glodalica radno vreteno ima vertikalni položaj (slika 2.51). Radno vertikalno vreteno ima mogućnost zakretanja za 50° u lijevu i u desnu stranu.

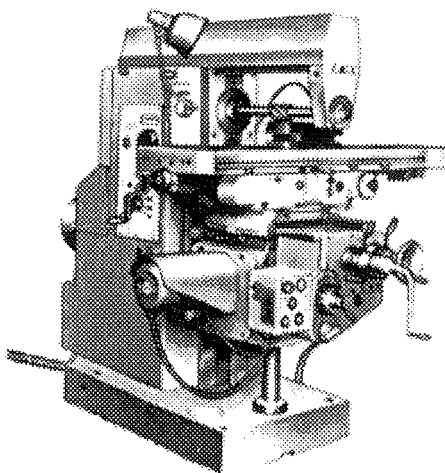
Ove glodalice imaju identične dijelove kao i horizontalne, a razlikuju se, samo prema položaju radnog vretena.



Slika 2.51 Vertikalna glodalica

Univerzalne glodalice (Slika 2.52) - po svom vanjskom izgledu slične su horizontalnim glodalicama, ali se konstrukciono bitno razlikuju od njih. Univerzalnost ovih glodalica ogleda se u njihovoj mogućnosti obrade kao na horizontalnim i vertikalnim glodalicama. Ove glodalice imaju dva radna vretena, od kojih je jedno vertikalno a drugo horizontalno. Vertikalna glava sa radnim vretenom postavlja se na mašinu kada se želi dobiti vertikalna glodalica. Radni sto kod ovih mašina može se zakrenuti oko vertikalne ose za 45° , u oba smjera.

Priključni pribori univerzalnih glodalica su: podiona glava, diobni radni sto, vertikalna glava i glava za dubljenje.



Slika 2.52 Univerzalna glodalica

Specijalne glodalice - namijenjene su za obradu posebnih vrsta operacija na obratcima. Predmeti koji se obrađuju specijalnim glodalicama najčešće su: vijci, zupčanici i predmeti nepravilnih oblika. Obzirom da su usko specijalizirane njihova produktivnost je veća, te se koriste u serijskoj i masovnoj proizvodnji.

Prema vrsti operacija koje se izvode razlikujemo sljedeće vrste glodalica i to: glodalice za izradu zavojnica, glodalice za izradu zupčanika, kopirne glodalice itd.

Na glodalicama za izradu zavojnica rade se zavojni puževi kao kratke i duge zavojnice.

Specijalne glodalice za izradu zupčanika mogu biti:

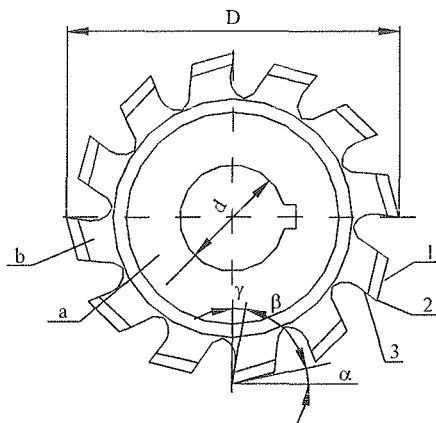
- glodalice za izradu cilindričnih zupčanika sa pravim i zavojnim zubima,
- glodalice za izradu koničnih zupčanika,
- glodalice za izradu koničnih zupčanika sa konstantnim zavojnim zubima,
- glodalice za izradu specijalnih koničnih zupčanika.

Kopirne glodalice - spadaju u grupu specijalnih glodalica za izradu predmeta nepravilnih i složenih oblika. Princip rada kod kopiranja zasniva se na paralelnom kretanju reznog alata u odnosu na iglu koja prati konturu šablona ili konturu prototipnog uzorka.

2.5.2 STANDARDNI ALAT I PRIBOR ZA RAD NA GLODALICI

Standardni alat za rad na glodalici je glodalo (slika 2.53), koje se sastoji iz tijela (a) i zuba (b). Većina glodala ima otvor za postavljenje na radno vreteno, dok druga glodala imaju dršku za koju se vrši pričvršćivanje na glodalici.

Kao kod većine reznih alata i glodala imaju iste elemente, a to su: leđna površina (1), grudna površina (2) i sječivo (3). Osnovni uglovi zuba su: leđni ugao (α), ugao klina (β) i grudni ugao (γ), a njihov zbir je 90° .



Slika 2.53 Elementi glodala

Glodala možemo podijeliti po više osnova: prema načinu izrade, prema obliku glodala, prema obliku zuba i prema vrsti materijala.

Prema načinu izrade razlikujemo sljedeće vrste:

- glodala sa glodanim zubima,
- glodala sa podstruganim zubima,
- glodala sa umjetnutim zubima.

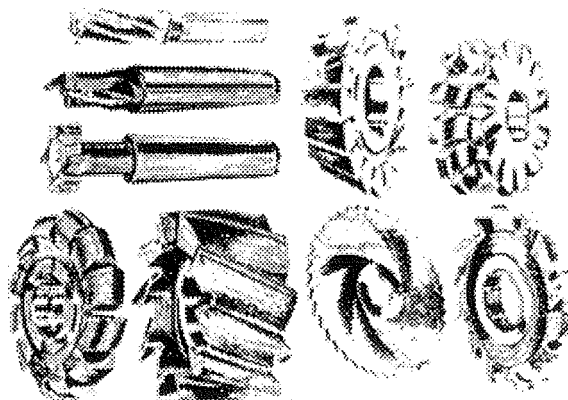
Prema obliku razlikujemo sljedeća glodala: valjkasta ili cilindrična, koturasta, testerasta, valjkasta čeona, vretenasta i profilna.

Prema obliku zuba razlikujemo sljedeće grupe:

- glodala sa pravim zubima,
- glodala sa ukrštenim zubima,
- glodala sa zavojnim zubima.

Prema vrsti materijala dijelimo ih na:

- glodala od brzoreznog čelika (HSS),
- glodala sa pločicom od tvrdog metala (HM).



Slika 2.54 Osnovni oblici glodala

Pribor za rad na glodalicama čine sva stezna pomagala koja se koriste za obezbjeđivanje stabilnosti obratka u procesu obrade. Stezni pribor može biti: pribor sa ručnim stezanjem i pribor sa mehanizovanim stezanjem.

U grupu pribora sa ručnim stezanjem ubrajaju se pločasti stezači (šape sa vijcima), vijčane podesive ploče, ugaonici različitih vrsta i razni oblici prizmi.

U grupu pribora sa mehanizovanim stezanjem spadaju mašinske stege, koje mogu biti različitih konstrukcionih oblika.

2.5.3 ELEMENTI REŽIMA OBRADJE NA GLODALICAMA

Elemente režima obrade pri glodanju čine: brzina rezanja, brzina pomoćnog kretanja (korak) i dubina rezanja.

Brzina rezanja je ustvari obimna brzina reznog alata koja se može izračunati preko obrasca:

$$v = D \pi n / 1000 \text{ (m/min)}$$

gdje je:

- v - brzina rezanja (m/min),
- D - prečnik glodala (mm) i
- n - broj obrtaja reznog alata (o/min).

Brzina rezanja zavisi od sljedećih faktora: vrste materijala obratka i reznog alata, dubine i širine rezanja, kvaliteta obrađene površine i vrste reznog alata.

Na brzinu pomoćnog kretanja (korak) značajan uticaj imaju: broj zuba glodala, vrsta glodalice, kao i svi faktori koji su prisutni kod brzine rezanja.

Brzina pomoćnog kretanja (korak) može se prikazati u tri različite veličine i to:

- korak po jednom zubu (mm/zubu),
- korak po obrtaju glodala (mm/o),
- korak po vremenu (mm/min).

Orijentacione vrijednosti brzine rezanja i koraka date su tabelom (T8) za glodala sa pločicom od tvrdog metala.

Dubina rezanja je sloj materijala koji se skida u jednom prolazu, izražen u mm.

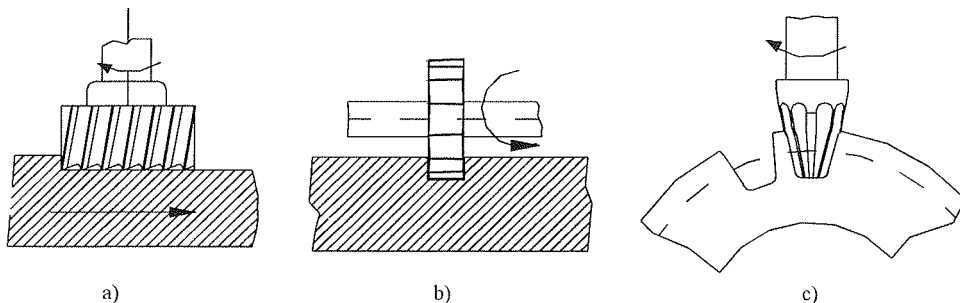
Tabela T8 Orijentacione vrijednosti brzine rezanja i koraka pri glodanju

| MATERIJAL OBRATKA | | PLOČICA TVRDOG MATERIJALA | KORAK PO ZUBU S_2 (mm/zubu) | BRZINA REZANJA v (m/min) |
|---|---|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| ALATNI ČELICI | $\delta_M = 100 \div 140$ kN/cm ² | P 10 | 0,06 ÷ 0,12 | 60 ÷ 90 |
| | | P 20 | 0,1 ÷ 0,2 | 50 ÷ 80 |
| | | P 30 | 0,2 ÷ 0,3 | 40 ÷ 70 |
| KONSTRUKTIVNI ČELIK UGLJENIČNI I LEGIRANI | $\delta_M \leq 50$ kN/cm ² | P 10 | 0,06 ÷ 0,12 | 110 ÷ 160 |
| | | P 20 | 0,1 ÷ 0,2 | 90 ÷ 140 |
| | | P 20 | 0,2 ÷ 0,4 | 70 ÷ 100 |
| | $\delta_M = 50 \div 70$ kN/cm ² | P 10 | 0,06 ÷ 0,12 | 100 ÷ 140 |
| | | P 20 | 0,1 ÷ 0,2 | 80 ÷ 120 |
| | | P 20 | 0,2 ÷ 0,4 | 60 ÷ 90 |
| ČELIČNI LIV | $\delta_M \leq 50$ kN/cm ² | P 30 | 0,3 ÷ 0,5 | 50 ÷ 80 |
| | | P 40 | | 45 ÷ 70 |
| | $\delta_M = 50 \div 70$ kN/cm ² | P 30 | 0,3 ÷ 0,5 | 45 ÷ 70 |
| | | P 40 | | 40 ÷ 60 |
| SIVI LIV | $H_B \leq 180$ kN/cm ² | G 1 | 0,1 ÷ 0,2 | 70 ÷ 100 |
| | | G 1 | 0,2 ÷ 0,6 | 45 ÷ 80 |
| | $H_B = 180 \div 220$ kN/cm ² | H 1, G 1 | 0,1 ÷ 0,2 | 60 ÷ 100 |
| | | H 1, G 1 | 0,2 ÷ 0,6 | 40 ÷ 80 |
| BAKAR | $H_B = 40 \div 80$ kN/cm ² | G 1 | 0,1 ÷ 0,4 | 120 ÷ 300 |
| | $H_B = 60 \div 110$ kN/cm ² | H 1 | 0,1 ÷ 0,4 | 120 ÷ 300 |
| MESING | $H_B = 40 \div 100$ kN/cm ² | G 1 | 0,1 ÷ 0,4 | 80 ÷ 250 |
| | $H_B > 80$ kN/cm ² | H 1 | 0,1 ÷ 0,4 | 70 ÷ 200 |
| ALUMINIJUM | $H_B \leq 80$ kN/cm ² | G 1 | 0,1 ÷ 0,2 | 500 ÷ 1000 |
| | | G 1 | 0,2 ÷ 0,6 | 300 ÷ 800 |
| | $H_B = 80 \div 120$ kN/cm ² | H 1 | 0,1 ÷ 0,2 | 400 ÷ 800 |
| | | H 1 | 0,1 ÷ 0,2 | 200 ÷ 600 |

2.5.4 VRSTE RADOVA NA GLODALICAMA

U zavisnosti od vrste mašine i reznog alata na glodalicama se mogu izvoditi sljedeće operacije (Slika 2.55):

- a/ glodanje ravnih horizontalnih, vertikalnih i kosih površina,
- b/ izrada ravnih i profilnih žlijebova i
- c/ izrada ravnih i zavojnih zuba zupčanika.



Slika 2.55 Vrste operacija na glodalicama

Kod obrade zupčanika obradak se postavlja na uređaj za periodično okretanje oko svoje ose tj. na podioni aparat. Kod izvođenja ostalih operacija obradak se postavlja i steže ručnim ili mehanizovanim priborom na radni sto.

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Kakva je razlika između suprotosmjernog i istosmjernog glodanja?
2. Prema položaju radnog vretena, kakve mogu biti glodalice?
3. Nabrojati vrste specijalnih glodalica.
4. Nabrojati elemente glodala.
5. Kakva mogu biti glodala?
6. Koji su to elementi režima obrade kod glodanja?
7. Nabrojati faktore koji utiču na brzinu rezanja.
8. Koje se operacije izvode na glodalicama?

2.6 OBRADA NA KOMBINOVANIM I SPECIJALNIM MAŠINAMA

2.6.1 OBRADA NA KOMBINOVANIM MAŠINAMA

Obrada teških i složenih proizvoda, kao što su razna kućišta, postolja i složeni mašinski sklopovi, iziskuju obradu na jednom radnom mjestu, kako bi se postigla veća tačnost izrade. Ovo se postiže na kombinovanim mašinama alatkama.

Kombinovane mašine predstavljaju kombinaciju najmanje dvije različite mašine, na primjer bušilice i glodalice. Na ovim mašinama može se vršiti niz različitih operacija kao što su: glodanje, bušenje, proširivanje, razvrtanje, upuštanje i urezivanje navoja.

Postavljanje reznog alata u odgovarajuće držače (nosače) istog oblika i dimenzija, je veoma jednostavno i efikasno, kao i njihovo postavljanje u radno vreteno, po redoslijedu operacija.

Obzirom da se radi o veoma teškim obratcima, njihovo postavljanje na radni sto vrši se dizalicom. Postavljeni obradak se fiksira, steže steznim elementima za radni sto i ostaje nepokretan do završetka obrade. Dovođenje obratka u željeni radni položaj pri obradi postiže se pokretanjem radnog stola sa obratkom. Radni sto ima mogućnost uzdužnog, poprečnog i polukružnog kretanja. Visinske kote na obratku postižu se dizanjem i spuštanjem nosača reznog alata. Savremene kombinovane mašine imaju mogućnost automatske promjene reznog alata i njegovo automatsko dovođenje u radni položaj za svaki zahvat.

2.6.2 OBRADA NA SPECIJALNIM MAŠINAMA

Mašine alatke koje su namjenski proizvedene i koriste se za obradu pojedinih operacija ili dijelova operacija nazivaju se specijalnim ili namjenskim mašinama alatkama. Ovu grupu mašina karakteriše automatsko stezanje i brža izrada obratka, te kao takve imaju široku primjenu u visokoserijskoj i masovnoj proizvodnji. Koriste se u svim granama savremene industrije, a najviše u vojnoj i automobilskoj industriji.

Specijalne mašine rade se pojedinačno prema narudžbi kupca. Za ove mašine je karakteristično da je izvršena unifikacija pojedinih sklopova ili dijelova, koji se serijski proizvode.

Postupak proizvodnje ovih mašina ogleda se kroz narudžbu kupca, koji daje crtež obratka sa svim tehničkim podacima i upoznaje proizvođača sa godišnjim obimom proizvodnje obratka.

Na osnovu traženih zahtjeva, proizvođač vrši analizu, a potom pristupa samoj konstrukciji buduće specijalne mašine. Proizvodnja i montaža mašine zasniva se na ugradnji unificiranih sklopova i dijelova.

Ovakav sistem proizvodnje mašina od unificiranih sklopova naziva se sistem sklapanja gotovih sklopova ili sistem agregiranja.

2.7 OBRADA NA RENDISALJKAMA ZA PROVLAČENJE

Rendisaljke se razlikuju od drugih mašina alatki, po tome što je kod njih glavno kretanje pravolinijsko sa duplim hodom, od kojih je jedan radni, a drugi neradni. Zbog neradnih hodova produktivnost im je mala, te se koriste za pojedinačnu i serijsku proizvodnju.

Postupak obrade provlačenjem je široko rasprostranjena u serijskoj i masovnoj proizvodnji fazonskih (profilisanih) i sličnih površina. Provlačenje zamjenjuje fazonsko glodanje, rendisanje i fino razvrtanje.

2.7.1 NAMJENA I VRSTA RENDISALJKI

Na rendisaljka se vrši obrada horizontalnih, vertikalnih, kosih i profilisanih površina. U zavisnosti da li alat ili obradak izvodi glavno kretanje, razlikujemo dva tipa rendisaljki i to:

- kratkohodne i
- dugohodne rendisaljke.

Kratkohodne rendisaljke. Razlikuju se dva tipa rendisaljki i to: sa kulisnim mehanizmom i hidrauličnim pogonom. Na ovim mašinama vrši se obrada malih obradaka čija je radna površina manja od maksimalnog hoda klizača na kojim se nalazi rezni alat. Kod ovih rendisaljki glavna i pomoćna kretanja su pravolinijska. Glavno kretanje izvodi alat, a pomoćno kretanje izvodi obradak. Zavisno u kojoj se ravni vrši kretanje reznog alata, razlikujemo horizontalne i vertikalne rendisaljke.

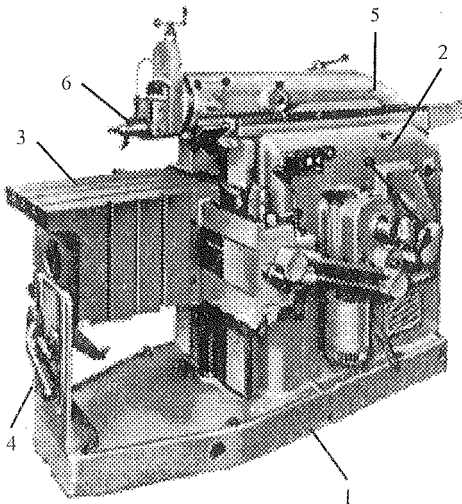
Na Slici 2.56 prikazana je kratkohodna rendisaljka sa kulisnim mehanizmom.

Osnovne dijelove čine: postolje (1), na kojem se oslanja vertikalni stub (2), a za stub se veže radni sto (3) sa potpornim stubom (4). Radni sto ima mogućnost poprečnog i vertikalnog pomjeranja. Na vrhu vertikalnog stuba nalazi se pokretni klizač (5) koji se uzdužno pokreće pokrivajući uzdužnu površinu radnog stola. Na klizaču je smješten rezni alat (6).

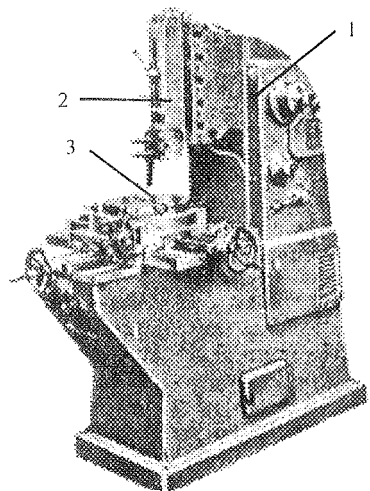
Pravolinijsko (glavno) kretanje reznog alata, ostvaruje se preko kulisnog mehanizma, koji obrtni moment elektromotora pretvara u pravolinijsko kretanje koje se prenosi na pokretni klizač (nosač reznog alata).

Na slici 2.57 prikazana je kratkohodna vertikalna rendisaljka (dubilica), kod koje je vertikalni stub (1) u obliku konzole. Na čeonj strani konzole smješten je vertikalni klizač (nosač reznog alata) (2), koji se diže i spušta u vertikalnoj ravni.

Radni sto (3) je postavljen horizontalno i posjeduje mogućnost poprečnog, uzdužnog i kružnog kretanja za 360° oko vertikalne ose. Ostali dijelovi vertikalne rendisaljke, kao i princip rada identični su horizontalnoj rendisaljki.



Slika 2.56 Kratkohodna horizontalna rendisaljka



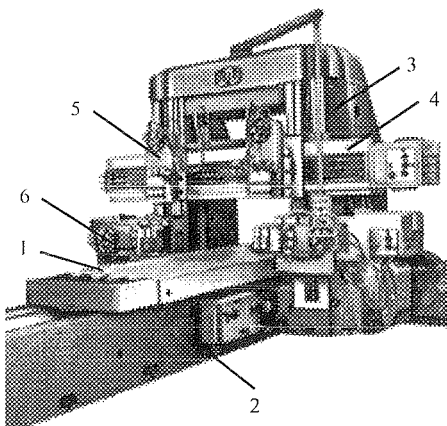
Slika 2.57 Slika vertikalne rendisaljke

Kratkohodne rendisaljke sa hidrauličnim pogonom - razlikuju se od prethodnih, po tome što hidraulična pumpa daje pogon kliznom nosaču reznog alata, umjesto kulisnog (kri-vajnog) mehanizma i elektromotora. Ove rendisaljke odlikuju se mirnim radom (bez potresa) i konstantnom brzinom rezanja, što nije svojstveno prethodnim rendisajlkama. Prema tome, ove rendisaljke imaju veću primjenu od prethodnih u savremenoj mašinskoj industriji.

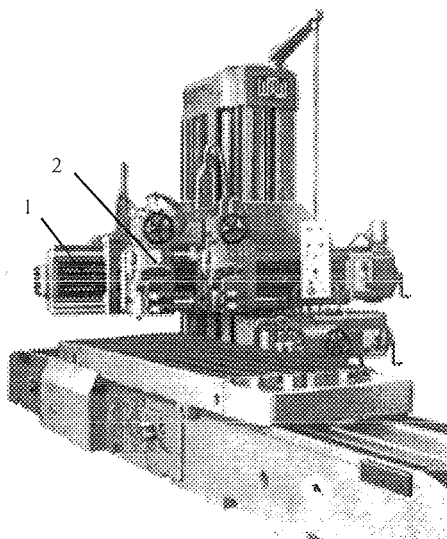
Dugohodne rendisaljke - se koriste za obradu teških i velikih obradaka. Kod ovih mašina alatki glavno (pravolinijsko) kretanje izvodi obradak, a pomoćno (pravolinijsko) kretanje izvodi rezni alat. Prema konstrukcionom obliku razlikujemo sljedeće vrste dugohodnih rendisaljki:

- dvostubne i
- konzolne.

Na Slici 2.58 prikazana je dvostubna dugohodna rendisaljka. Radni sto (1) kreće se postoljem (2) naprijed i nazad između vertikalnih stubova (3). Vertikalnim stubovima se podiže i spušta poprečni nosač (4) sa držačima alata (5), a bočni nosači reznih alata (6) vežu se za stubove.



Slika 2.58 Dvostubna dugohodna rendisaljka



Slika 2.59 Konzolna dugohodna rendisaljka

Dugohodna konzolna rendisaljka (Slika 2.59) razlikuje se od prethodne po tome što ima stub na kojem se veže konzola (1) sa nosačima reznog alata (2). Na ovim rendisajlkama može se vršiti obrada širih obradaka u odnosu na prethodne.

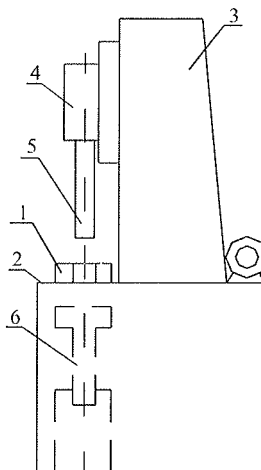
Pored prethodno obrađenih rendisaljki, imamo i specijalne rendisaljke, koje se obično koriste za obradu zupčanika u serijskoj proizvodnji. Kod ovih rendisaljki rezni alat ima oblik ozubljenе letve, što nije slučaj kod ostalih rendisaljki.

2.7.2 NAMJENA I VRSTA MAŠINE ZA PROVLAČENJE

Ove mašine su namijenjene za spoljašnju i unutrašnju obradu, fazonsko-profilisanih površina na obratku. Kod ovih mašina postoji samo jedno kretanje i to glavno pravolinijsko kretanje reznog alata, dok obradak miruje. Zbog redukovanog broj kretanja, ove mašine alatke su veoma produktivne, te kao takve koriste se u serijskoj proizvodnji.

Prema položaju i pravcu kretanja reznog alata razlikujemo vertikalne i horizontalne mašine za provlačenje, a one mogu biti za spoljašnju i unutrašnju obradu.

Na Slici 2.60 šematski je prikazana vertikalna mašina za provlačenje. Obradak (1) sa prethodno izbušenim otvorom, postavlja se na radni sto (2). Na izdizaču (3), preko stezača (4) veže se jedan kraj provlakača (5), a drugi kraj je slobodan. Preko klizača, provlakač se spušta prolazeći kroz otvor obratka i dolazi do donjeg stezača (6). Sinhronizovanim radnjama gornji stezač otpušta a donji stezač preuzima provlakač čime se nastavlja pravac kretanja alata. Zubi provlakača skidaju strugotinu sve dok zadnji zub ne prođe otvor obratka, završavajući proces obrade. Poslije prolaska provlakača obradak se skida, a provlakač se podiže dok ga ne preuzme gornji stezač.



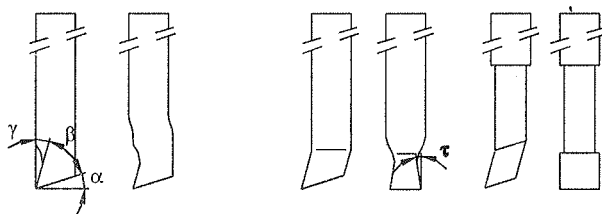
Slika 2.60 Šema vertikalne mašine za provlačenje

Kod horizontalnih mašina za provlačenje rezni alat (provlakač) ima horizontalni položaj i kreće se u horizontalnoj ravni. Nedostatak ovih mašina je otežano postavljanje i centriranje obratka na radnom stolu. Princip rada i konstrukcioni oblik je identičan vertikalnim mašinama za provlačenje.

2.7.3 ALATI ZA OBRADU RENDISANJEM I PROVLAČENJEM

Alat za rendisanje je principijelno identičan strugarskom nožu. Razlikujemo dvije vrste noževa (Slika 2.61) i to: noževe za vertikalno i noževe za horizontalno rendisanje. Ovi noževi mogu biti sa pločicom od tvrdog metala i jednodjelni, a prema obliku ravni i savijeni.

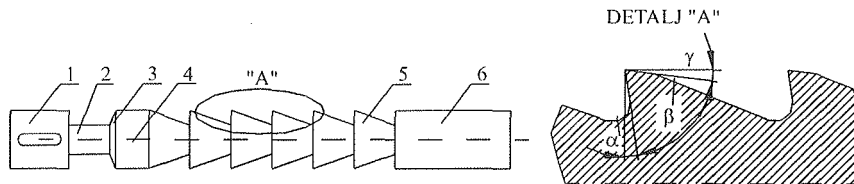
Uglovi kod noža su sljedeći: (α) - leđni, (β) - ugao klina, (γ) - grudni ugao i (τ) - bočni.



a) Noževi za horizontalno rendisanje b) Noževi za vertikalno rendisanje

Slika 2.61 Noževi za rendisanje

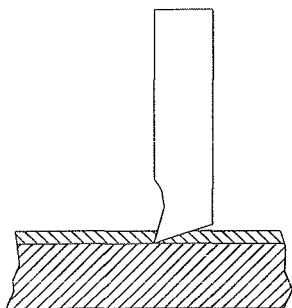
Alati za provlačenje su provlakači, kod kojih su zubi raspoređeni po čitavoj dužini, te kao takvi spadaju u grupu višesječnih alata. Provlakač čine sljedeći dijelovi (Slika 2.62): drška (1), vrat (2), prelazni konus (3), prednja vođica (4), rezni i kalibrirajući dio (5) i zadnji vodeći dio (6).



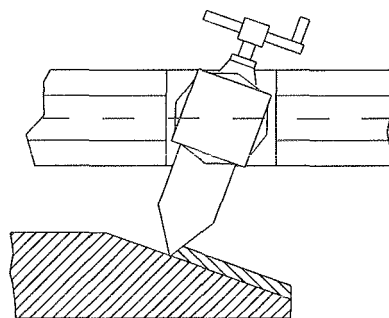
Slika 2.62 Provlakač

2.7.4 VRSTE RADOVA NA RENDISALJKAMA I MAŠINAMA ZA PROVLAČENJE

Na rendisaljka se vrši obrada ravnih i kosih površina, pravih i T-žljebova i zupčanika. Obrada ravnih površina (Slika 2.63) vrši se na svim rendisaljka dok se obrada kosih površina vrši samo na horizontalnim rendisaljka (Slika 2.64). Pri obradi kosih površina vrši se zakretanje nosača reznog alata.

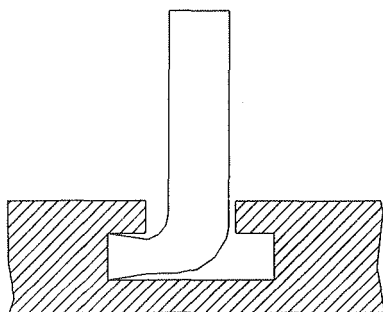


Slika 2.63 Obrada ravnih površina

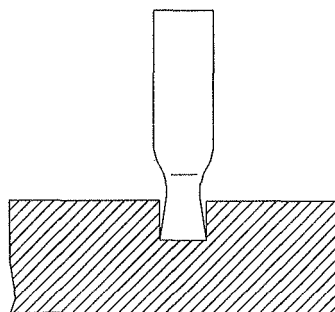


Slika 2.64 Obrada kosih površina

Obrada žljebova (Slika 2.65) vrši se fazonskim noževima.



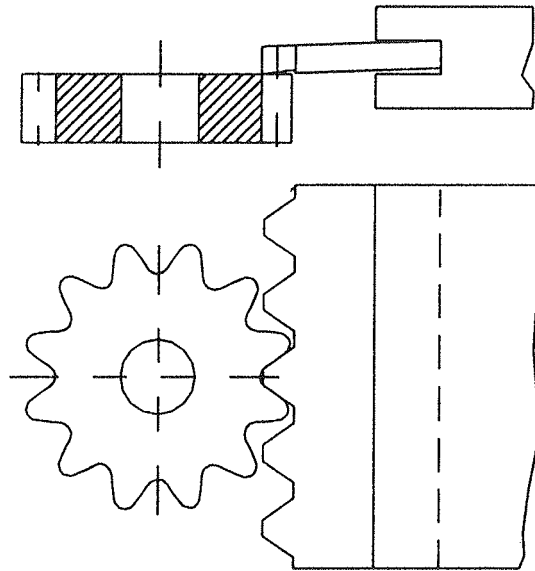
a) "T" - žlijeb



b) Pravi žlijeb

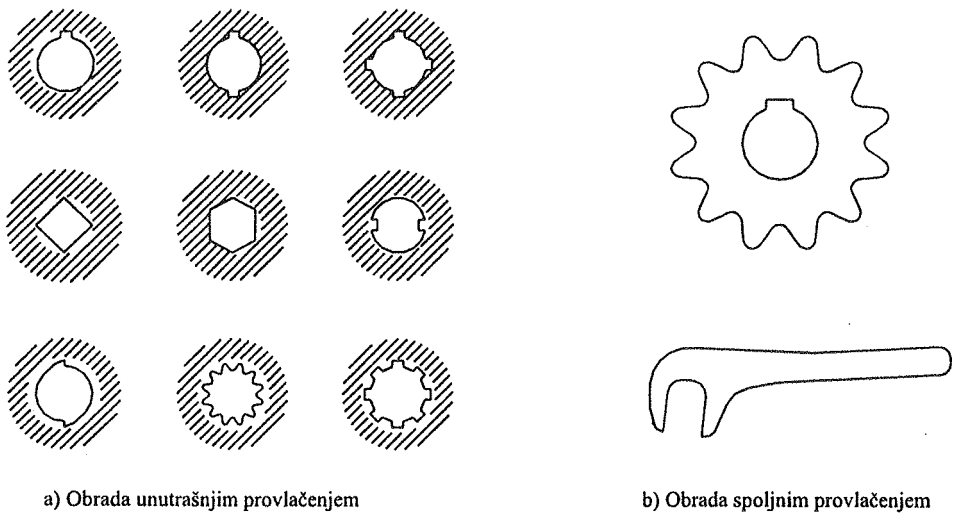
Slika 2.65 Obrada žljebova

Obrada zupčanika (Slika 2.66) vrši se na specijalnim rendisaljicama, a gdje alat ima oblik zupčaste letve.



Slika 2.66 Obrada zupčanika

Na mašinama za provlačenje vrši se obrada različitih žljebova i fazonskih površina. Na Slici 2.67 dati su neki od mogućih oblika obrađenih površina. Kod unutrašnjeg provlačenja prvo se uradi rupa (otvor) koja služi za provlačenje i vođenje provlakača.



a) Obrada unutrašnjim provlačenjem

b) Obrada spoljnim provlačenjem

Slika 2.67 Obrada provlačenjem

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Šta su to kombinovane mašine?
2. Koje se mašine nazivaju specijalnim?
3. Nabrojati vrste rendisaljki.
4. Nabrojati vrste mašina za provlačenje.
5. Koje su prednosti hidrauličnih rendisaljki u odnosu na ostale?
6. Prema obliku, kakvi sve mogu biti noževi za rendisanje?
7. Nabrojati dijelove provlakača.
8. Koje se operacije mogu izvoditi rendisanjem?
9. Kakva se priprema vrši na obratku prije operacije provlačenja?

2.8 OBRADA NA BRUSILICAMA I MAŠINAMA ZA GLAČANJE

Obrada brušenjem uglavnom je završna obrada, ali se može primjenjivati i u operacijama grube obrade (sječenje, brušenje otkovaka, odlivaka itd.). Ovom obradom se postiže visoka klasa obrađene površine i visok stepen tačnosti. Od svih obrada skidanjem strugotine jedino se brušenjem mogu obrađivati kaljeni i cementirani obratci. Brušenje se izvodi pri velikim brzinama rezanja, a malim koracima i dubinama.

Glačanje metala je vrsta mašinske obrade koja predstavlja najfiniju završnu obradu, koja se izvodi abrazivnim sredstvima. Obrada se izvodi na specijalnim mašinama za glačanje.

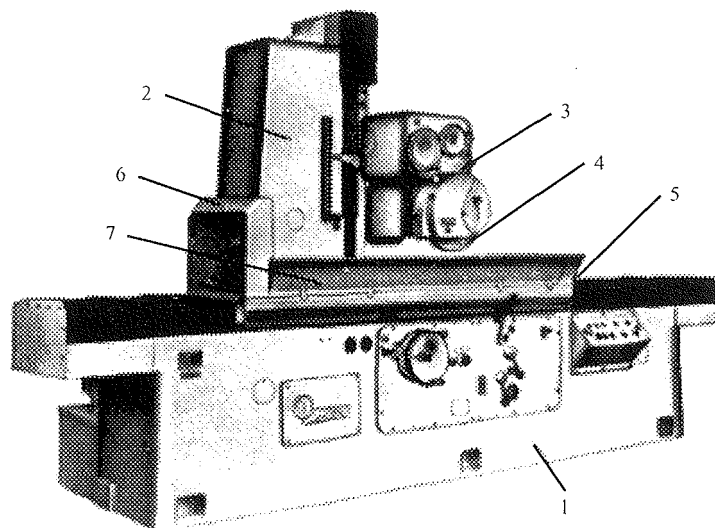
2.8.1 VRSTE I NAMJENE BRUSILICA

U nemogućnosti postizanja odgovarajuće tačnosti i kvaliteta obrađene površine: struganjem, glodanjem i rendisanjem, na pojedinim obradcima, pristupa se obradi brušenjem. Brusilice su mašine za završnu obradu, na kojima se vrši obrada okruglih, unutrašnjih i vanjskih površina, ravnih površina, zupčanika i navoja. Prema obliku obratka koji će se brusiti razlikujemo sljedeće vrste brusilica: brusilice za ravno brušenje, brusilice za okruglo brušenje i brusilice za oštrenje alata.

Brusilice za ravno brušenje - služe za obradu ravnih površina, žljebova i slično. Ove brusilice mogu imati horizontalan i vertikalni položaj radnog vretena, te stoga imamo brusilice sa horizontalnim i vertikalnim radnim vretenom.

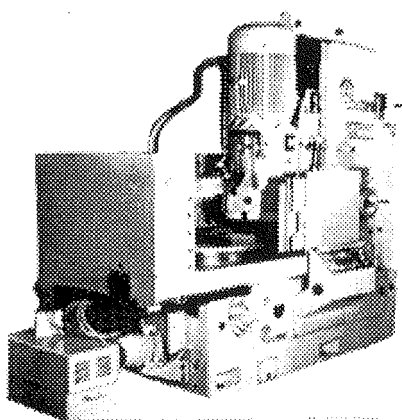
Kod ovih brusilica glavno kretanje je kružno i izvodi ga točilo, a pomoćno kretanje je pravolinijsko i izvodi ga obradak.

Brusilica za ravno brušenje sa horizontalnim radnim vretenom (Slika 2.68), sastoji se iz postolja (1), na koje naliježe vertikalni stub (2). Na vertikalnom stubu nalazi se nosač alata (3) sa točilom (4), koji ima mogućnost vertikalnog i poprečnog kretanja. Radni sto (5) sa obratkom se kreće uzdužno, podužnim klizačima postolja. Obradak se veže za radni sto preko elektromagnetne postelje. Sa čeonih strana i jedne bočne strane stola nalaze se zaštitni limovi (6) i (7), koji sprječavaju rasipanje brusne prašine i sredstva za hlađenje. Uzdužno kretanje radnog stola se postiže hidrauličnim pogonom, sa veoma lankom pokretljivošću.

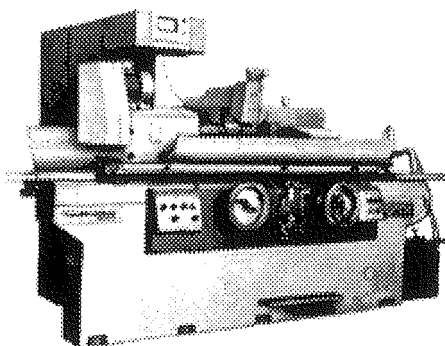


Slika 2.68 Horizontalna brusilica za ravno brušenje

Vertikalne brusilice za ravno brušenje (Slika 2.69). Kod ovih brusilica radno vreteno ima vertikalni položaj po čemu su i dobile ime vertikalne brusilice. Za ove brusilice karakteristično je da točila trebaju imati veći prečnik od širine obradka. Na ovim brusilicama mogu se raditi obratci većih gabarita, obzirom da točila imaju prečnik i do 1 metar. Postavljanje obradaka na radni sto i njihova obrada identična je kao kod prethodnih brusilica, ali se manje primjenjuju u savremenoj proizvodnji od prethodnih, zbog inače smanjene potrebe za obradom velikih predmeta.



Slika 2.69 Vertikalne brusilice za ravno brušenje



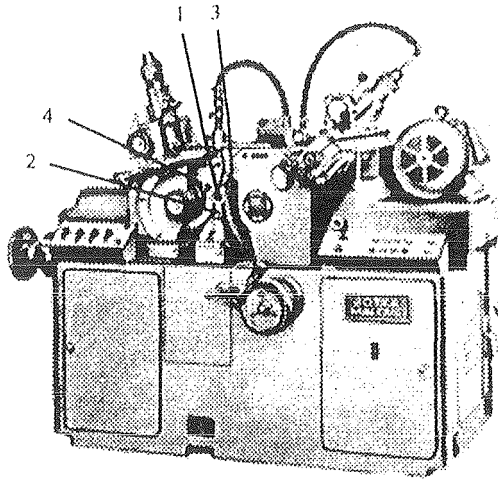
Slika 2.70 Brusilice sa šiljcima

Brusilice za okruglo brušenje - mogu se podijeliti na: brusilice za spoljašnje brušenje, brusilice za unutrašnje brušenje i univerzalne brusilice.

Brusilice za spoljašnje brušenje mogu biti sa šiljcima i bez šiljaka.

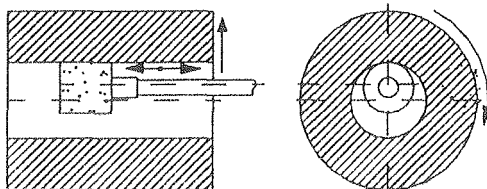
Na brusilicama sa šiljcima vrši se obrada dugačkih okruglih obradaka, kao što su osovine i vratila. Obradak se učvršćuje između šiljaka, izvodeći pomoćno obrtno kretanje malom obimnom brzinom. Obradak stegnut šiljcima zajedno sa radnim stolom vrši uzdužno pravolinijsko kretanje. Glavno obrtno kretanje izvodi točilo sa velikom obimnom brzinom, a takođe i pomoćno pravolinijsko kretanje tj. primicanje obratku.

Brusilice bez šiljaka imaju široku primjenu u visokoserijskoj i masovnoj proizvodnji. Na ovim brusilicama vrši se obrada malih obradaka, kao što su: rukavci, osovinice sa glavom, ventilska vretena i slično. Pri obradi na ovim brusilicama (Slika 2.71) radni predmet (1) postavlja se na podupirač (2), između dva točila, od kojih je jedno radno-pogonsko (3), a drugo vodeće (4). Oba točila imaju isti smjer kretanja, dok se obradak kreće u suprotnom smjeru.



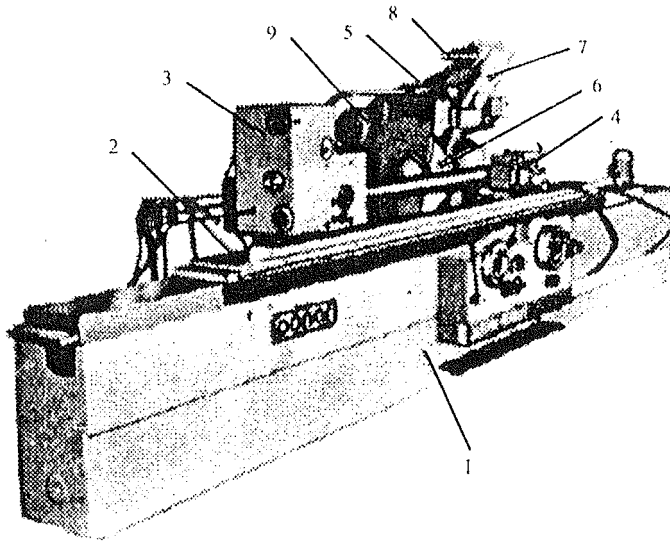
Slika 2.71 Brusilica bez šiljaka

Brusilice za unutrašnje brušenje služe za obradu cilindričnih i koničnih otvora, kao i čeonih površina. Kod ovog brušenja prečnik točila mora biti manji od prečnika otvora (Slika 2.72). Obradak izvodi pomoćno obrtno kretanje, a ostala kretanja izvodi točilo, a to su: glavno obrtno kretanje, uzdužno pomjeranje i radialno primicanje predmetu. Postoje i brusilice na kojima se vrši obrada gdje obradak miruje, a točilo izvodi sva potrebna kretanja, takve brusilice nazivaju se planetarnim brusilicama.



Slika 2.72 Šematski prikaz okruglog unutrašnjeg brušenja

Univerzalne brusilice (Slika 2.73). Na ovim brusilicama vrši se spoljašnja i unutrašnja obrada obradaka. Na masivnom postolju (1) leži radni sto (2), na kojem se sa lijeve strane oslanja kućište sa radnim vretenom (3), a sa desne strane konjić (4). U kućištu je smješten elektromotor koji daje obrtni moment obratku preko radnog vretena. Sa leđne strane postolja veže se kućište (5), u kojem je smješteno veliko tocilo (6). Na gornjoj strani kućišta nadovezuje se nosač (7) malog tocila (8). Malo tocilo služi za unutrašnju, a veliko tocilo za spoljašnju obradu. Dovođenje (spuštanje) nosača malog tocila u osu obratka, pri unutrašnjem brušenju vrši se ručno. Ova tocila dobijaju pogon od elektromotora (9).



Slika 2.73 Univerzalna brusilica

Brusilice za oštrenje alata - služe za oštrenje reznog alata. Mogu biti različitih oblika i tipova što neće biti predmet daljeg razmatranja.

2.8.2 OSNOVNI OBLICI ALATA ZA BRUŠENJE

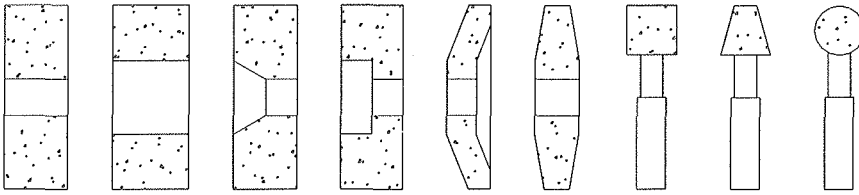
Alat za brušenje (tocilo) (Slika 2.74) se bitno razlikuje od drugih vrsta alata u obradi skidanjem strugotine. To su ustvari alati sa geometrijski nepravilnim sječivom, sa velikim brojem zrna abraziva, koji su povezani vezivnim sredstvom u jednu cjelinu koju čini alat za brušenje.

Alat za brušenje sastoji se iz brusnog materijala (zrna za brušenje) i vezivnog materijala.

Brusni materijal (zrna za brušenje) mogu biti prirodnog i vještačkog porijekla, tj. zrna od normalnog korunda, specijalnog korunda, silicijumkarbida i dijamanta.

Vezivni materijal ima zadatak da brusni materijal drži u sklopu jednog tocila kao cjelinu. Uglavnom, kao vezivo se koristi: keramika, smola, bakelit, guma i metal kao vezivno sredstvo.

Kvalitativno označavanje tocila uglavnom obuhvata : brusni materijal, krupnoću zrna, tvrdoću, strukturu i vrstu veziva. Slovne i brojčane oznake elemenata koje predstavljaju kvalitetne karakteristike tocila, ispisuju se na tocilu radi njegovog prepoznavanja.



Slika 2.74 Oblici tocila

2.8.3 ELEMENTI REŽIMA OBRADE NA BRUSILICAMA

Elemente režima obrade pri brušenju čine: brzina rezanja, brzina pomoćnog kretanja (korak) i dubina rezanja. Pri brušenju, pod brzinom rezanja se podrazumijeva obimna brzina tocila. Ova brzina je znatno veća od brzine rezanja kod drugih vrsta obrade skidanjem strugotine. Iz tih razloga ona se mjeri u m/sek, odnosno

$$v = D_f \pi n / (1000 \times 60) \text{ (m/sek),}$$

gdje je: D_f - prečnik tocila (mm) i n - broj obrtaja tocila (min^{-1}).

Brzina pomoćnog kretanja (korak) zavisi od sljedećih faktora: postojanosti tocila, snage mašine, širine tocila, kvaliteta tocila, brzine rezanja, vrste materijala obratka itd. i izražava se u mm/o.

Dubina rezanja je sloj materijala koji se skida u jednom prolazu a izražava se u mm. Elementi režima obrade obično se daju tabelom.

Tabela T9 Orijentacione vrijednosti režima obrade pri brušenju

| Brušenje | Dubina za jedan prolaz t (mm) | Korak S (mm) | Brzina obratka v_f (m/min) | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------------|--|--------------------------|-----------------------------|
| | | | Nekaljeni čelik Sivi liv | Kaljeni čelik legirani čelik čelični liv | Mesing bronz bakar | Aluminijum (lake legure) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1. Spoljno kružno između šiljaka | | | | | | |
| a) Uzdužno sa primicanjem tocila | | | | | | |
| poslije dvojnog hoda radnog stola | t (mm/dh) | s_f (mm/o) | | | | |
| - prethodno | 0,02±0,05 | $(0,5±0,75)B_f$ | 15±20 | 18±25 | 25±30 | 30±60 |
| - završeno | 0,002±0,02 | $(0,2±0,5)B_f$ | 25±30 | 30±40 | 40±60 | 60±100 |
| b) Uzdužno sa primicanjem tocila | | | | | | |
| poslije svakog hoda radnog stola | t (mm/dh) | s_f (mm/o) | | | | |
| - prethodno | 0,01±0,025 | $(0,5±0,75)B_f$ | 12±18 | 15±20 | 20±25 | 30±60 |
| - završeno | 0,002±0,01 | $(0,2±0,5)B_f$ | 25±30 | 30±35 | 35±55 | 60±100 |
| v) Poprečno | | | | | | |
| - prethodno | | s_f (mm/o) | | | | |
| - završeno | | 0,002±0,075 | 25±30 | 30±35 | 35±40 | 40±50 |
| - završeno | | 0,001±0,005 | 20±25 | 25±30 | 30±35 | 35±40 |

2.8.4 OBRADA GLAČANJEM (LEPOVANJE I HONOVANJE)

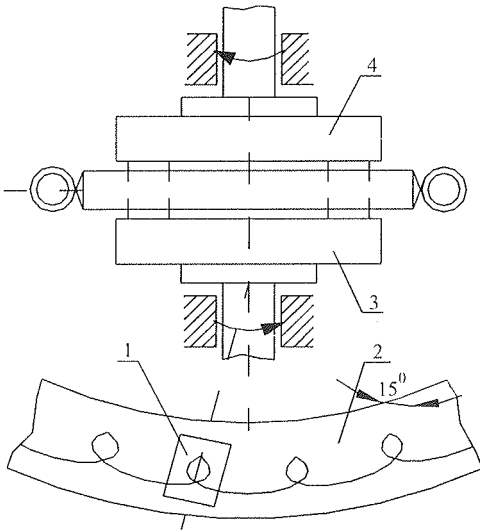
Kod obradaka gdje se zahtijeva visok stepen tačnosti i dobar kvalitet obrađene površine, pristupa se završnoj metodi obrade - glačanju. U zavisnosti od oblika i vrste obrađene površine, razlikujemo sljedeće metode glačanja, i to: spoljašnje glačanje (lepovanje) i unutrašnje glačanje (honovanje).

Lepovanje - se izvodi na specijalnim mašinama za spoljašnju obradu. Na ovim mašinama može se vršiti obrada ravnih i cilindričnih obradaka.

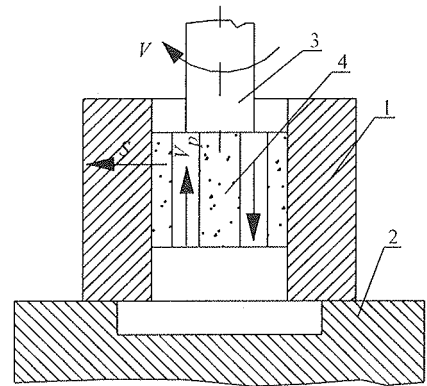
Princip rada pri lepovanju prikazan je na Slici 2.75. Obratci (1) se postavljaju u kaveze separatora (držače) (2), a separator sa obratcima postavlja se između dva obrtno horizontalna diska (3) i (4), na koje se prethodno navuče sloj paste ili mješavine praha i ulja. Diskovi imaju suprotno obrtno kretanje, a pogon dobijaju od elektromotora. Obratci se postavljaju pod uglom od 15° u odnosu na radijalni položaj diskova, kako bi usljed obrtnog kretanja diskova, obratci dobili obrtno kretanje oko svoje ose. Pri obrtnom kretanju obradaka pojavljuje se proklizavanje u odnosu na diskove što omogućava proces lepovanja, tj. skidanje malog sloja materijala obratka.

Kao brusno sredstvo koristi se brusni prah pomiješan sa uljem ili specijalne paste. Brusni prah može biti izrađen od korunda, rubina, stakla, silicijuma, dijamanta itd.

Diskovi mašine za glačanje rade se od mehkog sitnozrnastog perlitnog livenog gvožđa.



Slika 2.75 Princip rada pri lepovanju



Slika 2.76 Princip rada pri honovanju

Honovanje - se vrši na specijalnim mašinama sa čvrstim brusnim sredstvima (duguljastim brusevima) učvršćenim u specijalne glave, kojima se izvodi najfinija obrada unutrašnjih površina (cilindara, čahura i slično).

Princip rada pri honovanju prikazan je na Slici 2.76. Obradak (1) se postavlja na radni sto (2), koji pri obradi miruje. U otvor obradaka ubacuje se glava (3) za honovanje sa brusevima (4), koji su raspoređeni po obimu glave. Alat za honovanje pričvršćuje se za vertikalno radno vreteno, koje izvodi glavno obrtno kretanje (V) i aksijalno periodično kretanje (V_p), a brusevi izvode radijalno pomjeranje (s).

Konstrukcija oblika alata mora biti prilagođena geometrijskom obliku otvora obratka, kako bi se moglo vršiti širenje i skupljanje bruseva pri ulasku i izlasku iz otvora obratka. Radijalno pomjeranje bruseva omogućavaju odgovarajuće opruge ili konična vretena preko odgovarajućih umetaka.

2.9 PROGRAMSKO UPRAVLJANJE MAŠINAMA ALATKAMA

U savremenoj mašinskoj proizvodnji, nastoji se da se sve operacije u okviru jednog procesa izvode automatski, odnosno bez učešća ljudskog faktora, što ima za posljedicu:

- skraćanje vremena obrade po jedinici proizvoda,
- eliminisanje fizičkih komponenti radnika,
- smanjenje škarta pri obradi i
- povećanje produktivnosti i ekonomičnosti.

To znači, da su povećani zahtjevi za eliminisanjem ljudskog rada, odnosno za sve većom automatizacijom mašina. Pojavom programskih mašina savremena proizvodnja doživljava pravu ekspanziju u tom pravcu. Programsko upravljanje predstavlja osnovu automatizacije obradnih centara na kojima leži budućnost savremene proizvodnje.

2.9.1 ZNAČAJ I PRIMJENA PROGRAMSKOG UPRAVLJANJA U SAVREMENOJ INDUSTRIJSKOJ PROIZVODNJI

Značaj programskog upravljanja mašinama alatkama ogleda se kroz:

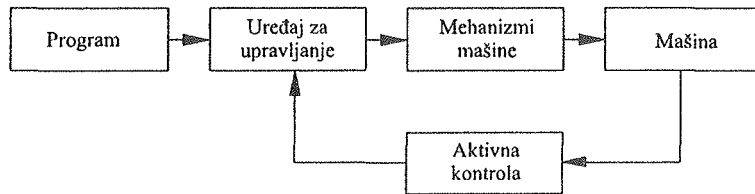
- dobijanje visokokvalitetnih i jeftinijih proizvoda,
- brzo i jednostavno osvajanje novih proizvoda,
- laku izradu komplikovanih obradaka,
- moguće je vršiti simulaciju kretanja alata u obradnom centru,
- visoku produktivnost,
- mogućnost upravljanja opremom na daljini itd.

Programsko upravljanje u savremenoj industrijskoj proizvodnji u stalnom je porastu. Na programskim mašinama vrši se obrada obradaka prema unaprijed utvrđenom programu.

Program pravi stručno osposobljeni radnik za programiranje, na osnovu radioničkog crteža i tehnološkog procesa izrade obradka. Program za upravljanje mašinama alatkama treba da sadrži sljedeće elemente: putanju reznog alata, režime obrade i pomoćna kretanja (postavljanje, stezanje, otpuštanje, hlađenje itd.).

Pohranjivanje programa i sistem upravljanja kod mašina alatki sa programskim upravljanjem šematski je prikazan na slici 2.77. Kod pohranjivanja programa pristupa se aktiviranju uređaja za programiranje i unose se podaci. Uređaj za očitavanje programskih signala pretvara ulazne podatke u električne impulse i predaje ih elementima upravljanja. Primljene impulse dešifruju elementi upravljanja i predaju mehanizmima mašine alatke, a radni mehanizmi sprovode naredbu. Mehanizmi mašine po automatizmu sprovode naredbe zadane programom tj. vrši se obrada obradka.

Elementi aktivne kontrole vrše kontrolu toka tehnološkog procesa i rezultate kontrole pretvaraju u električne impulse koje dostavljaju uređaju za upravljanje.



Slika 2.77 Šema upravljanja kod programskih mašina alatki

Programsko upravljanje mašinama alatkama može biti: numeričko i kontaktno (pozicijsko). Prema načinu unosa podataka programiranje može biti: ručno (putem bušenih kartica), polumašinsko i mašinsko ili kompjutersko (što predstavlja najsavremeniji način unosa programa odnosno podataka).

2.9.2 NUMERIČKO I KONTAKTNO PROGRAMSKO UPRAVLJANJE

Numeričko upravljanje je, ustvari upravljanje pomoću brojevanih vrijednosti. Osnovna karakteristika NU - mašina ili NC - mašina, jeste, što se cijeli program obradnog procesa, uključujući i veličine pomjeranja povratnih organa mašine, zapisuje na nosaču programa.

Alatne mašine sa numeričkim upravljanjem zahtijevaju detaljne informacije o obliku obratka i o režimima obrade.

NU-mašine u suštini sastoje se od dva agregata: mašine alatke i sistema za upravljanje. Prema karakteru kretanja radnih organa NU-mašine mogu biti:

- sa koordinatnim upravljanjem,
- sa konturnim (krivolinijskim) upravljanjem.

Koordinatno upravljanje može se ostvariti sistemom pozicioniranja ili sistemom linijskog upravljanja. Kod sistema pozicioniranja rezni alat dovodi se u radni položaj pomjeranjem od tačke do tačke po koordinatnim osama. Pri pomjeranju od tačke do tačke, alat nije u zahvatu. Ovaj sistem koordinatnog upravljanja primjenjuje se na kombinovanim mašinama (bušilica + glodalica).

Sistem linijskog ili pravougaonog upravljanja primjenjuje se na strugovima i glodalicama. Razlikuje se od prethodnog sistema upravljanja u tome što se alat pri pomjeranju od tačke do tačke, u pravcu koordinatnih osa, nalazi u zahvatu sa obratkom. Ovakav sistem upravljanja ostvaruje se pri struganju stepenastih cilindričnih dijelova, kao i obradom fazonskih strugarskih noževa, dok se na glodalici ostvaruje pri obradi paralelnih površina, tj. površina koje su paralelne sa koordinatnim osama.

Sistem konturnog upravljanja odlikuje se istovremenim kretanjem dva ili više radna organa, tako da se mogu obrađivati obratci složenih oblika. Ovaj sistem upravljanja najčešće se primjenjuje na strugovima i glodalicama.

Kod numeričkog upravljanja moguće je i prvi komad automatski obrađivati sa većom tačnošću, a moguća je obrada najsloženijih oblika obradaka.

Kontaktno (pozicijsko) upravljanje omogućava da se izvrši programiranje redosljeda i veličine hodova pojedinih dijelova mašine. U ovom slučaju program se zadaje preko bušene karte ili komandne table sa čepovima, a veličina hoda pojedinih organa mašine se određuje pomoću graničnika ili graničnih prekidača.

Osnovni nedostatak mašina sa kontaktnim upravljanjem je, što se kod izrade prvog komada vrši kontrola (mjerenje) obratka kao na neprogramskim mašinama.

Kada se pri radu na komadu postignu odgovarajuće veličine, pristupa se graničenju i automatskoj obradi narednih obradaka.

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Nabrojati vrste brusilica.
2. Kakve sve mogu biti brusilice za spoljašnje brušenje?
3. Kako se vrši obrada na brusilicama bez šiljaka?
4. Iz čega se sastoji točilo?
5. Šta se koristi kao vezivno sredstvo kod točila?
6. Navesti elemente režima obrade pri brušenju?
7. Od čega zavisi brzina pomoćnog kretanja (korak) kod brušenja?
8. Navesti metode obrade glačanjem.
9. Objasniti obradu honovanjem.
10. U čemu se ogleda programsko upravljanje kod mašina alatki?
11. Koje elemente sadrži program za upravljanje NU-mašinama?
12. Šta je to numeričko upravljanje?
13. Koji je osnovni nedostatak mašina sa kontaktnim upravljanjem?

3. ELEKTROFIZIČKE I ELEKTROHEMIJSKE METODE OBRADE

Elektrofizičke i elektrohemijske metode su jedne od najmlađih metoda obrade. To su metode obrade koje se, zbog svog načina rada, još mogu nazvati i metodama obrade odnošenjem.

Kod metoda obrade skidanjem strugotine ili rezanjem, odnosno kod metoda obrade deformacijom, alat mora posjedovati bolja mehanička svojstva od predmeta obrade (prije svega veću tvrdoću). To je dovelo do istraživanja u pravcu pronalazaka takvih materijala koji će moći obrađivati i alate koji su pravljene, na primjer, od visokolegiranih čelika, zatim termički obrađenih, odnosno zakaljenih čelika itd. Tako su nastali tvrdi metali i sinterovani (sinter) metali. Međutim, često treba obraditi ili doraditi i te materijale, što bi konvencionalnim metodama obrade bilo vrlo otežano.

Svi ovi problemi prethodili su stvaranju takve vrste tehnološke obrade, pri kojoj sila nije dominantan faktor obrade. Alat se kod tih metoda obrade pojavljuje kao nosač oblika i dimenzija za radni proces, dok sam rad obavlja električna energija, odnosno kinetička energija pri ultrazvuku.

Glavne karakteristike ovih metoda obrade su:

- proces se odvija u tačnoj sredini, radi usmjerenog vođenja električne energije, odnosno davanja kinetičke energije zrnima abraziva,
- alat i predmet obrade tokom procesa, u pravilu, nisu u kontaktu, a nisu od posebnog značaja mehaničke karakteristike alata,
- obzirom da se proces zasniva na odnošenju materijala sa obratka, zazor između alata i obratka mora se održavati konstantnim, u protivnom nema valjanog procesa obrade, a vrlo često i mašina prestaje sa radom (gubi se kontakt na mašini).

Prednosti ovakvih metoda tehnološke obrade u odnosu na konvencionalne metode (rezanje, deformisanje) su u sljedećem:

- stvorena je mogućnost obrađivanja tvrdih metala mekšim metalima (na primjer: obrada tvrdog metala pomoću bakra ili aluminijuma),
- mogu se izvoditi operacije kakve se ne mogu izvesti konvencionalnim metodama obrade (primjer zakrivljenih cilindričnih površina),
- nisu više u direktnoj zavisnosti brzina, kvalitet i produktivnost obrade sa mehaničkim osobinama obratka (tvrdoća, žilavost itd.),
- znatno je povećana ekonomičnost proizvodnje,
- proces rada se može lahko automatizirati itd.

Najpoznatije elektrofizičke i elektrohemijske metode obrade su :

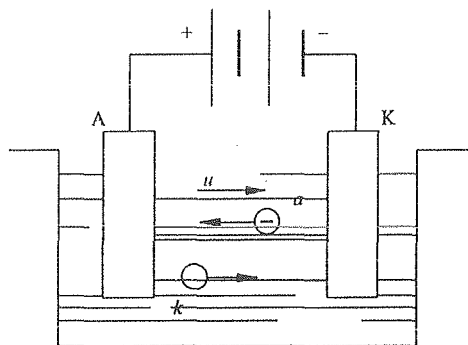
- elektrohemijska obrada,

- elektroeroziona obrada,
- ultrazvučna obrada,
- obrada snopom elektrona,
- obrada laserom itd.

3.1 ELEKTROHEMIJSKA OBRADA

Elektrohemijska obrada, pripada skupini obrada nekonvencionalnim metodama. Svoj princip rada zasniva na korištenju niskog napona električne energije u procesu elektrolize. Elektroliza je, kao što je već poznato, elektrohemijski proces, koji se vrši na uronjenim elektrodama u elektrolitičkom mediju. Elektrode su povezane sa izvorom električne istosmjerne, odnosno jednosmjerne struje.

Pozitivno naelektrisana elektroda zove se **anoda** ili (+) pol (u procesu obrade to je obradak), dok se negativno naelektrisana elektroda naziva **katodom** ili (-) polom (u procesu obrade to je alat). Obzirom da do kretanja električne energije može doći pod uslovom da je zatvoren *strujni krug*, kod ovog procesa strujni krug je ostvaren kretanjem jona. *Joni* odnosno *jonizacija* nastaje rastvaranjem (razlaganjem) elektrolita pri čemu dolazi do stvaranja atoma sa (+) odnosno (-) nabojem, bolje reći katjona i anjona. Prema tome, usljed djelovanja električne struje dolazi do kretanja katjona prema katodi odnosno anjona prema anodi, kao što se i vidi na slici 3.1.



Slika 3.1 Kretanje jona pri procesu elektrolize

Naelektrisani joni, koji nose (+) ili (-) naboj, izražen u višku elektrona u svom atomskom omotaču, predaju taj višak elektrona elektrodama nakon čega postaju električno neutralni. Ovi neutralni atomi vrlo brzo se povezuju sa česticama metala (materijala), što je popraćeno odgovarajućim hemijskim reakcijama. Novonastali spojevi, kojih nije bilo prije početka ove reakcije, su pravi pokazatelj da je došlo do elektrolize.

Obzirom da su obje elektrode uključene u proces, normalno bi bilo i da su ravnomjerno opterećene procesom tj. da dolazi do otapanja anode odnosno da dolazi do taloženja na katodi.

Međutim, procesom rada moguće je upravljati tako da se može izvršiti njegovo usmjerenje više na katodu odnosno više na anodu, što zavisi od toga šta se želi postići. To se postiže pogodnom elektroprovodljivošću tj. elektrolitom, elektrodama i mehanizmom procesa.

U zavisnosti od mehanizma procesa obrade, te metode odvođenja produkata iz zone rada razlikujemo:

- anodnohidrauličnu obradu,
- anodnomehaničku obradu,
- obradu u nepokretnom elektrolitu.

Upotrebom anodnohidraulične metode obrade proces odnošenja materijala obavlja se isključivo anodnim rastvaranjem, dok se novonastali višak materijala (u ovom slučaju otpadak) iz zone rada odnosi protokom tečnosti (elektrolita) uzrokovanom povećanim pritiskom.

Slično je i kod anodnomehaničke metode obrade, s tim što se ovdje otpadni materijal iz zone obrade odnosi mehaničkim putem.

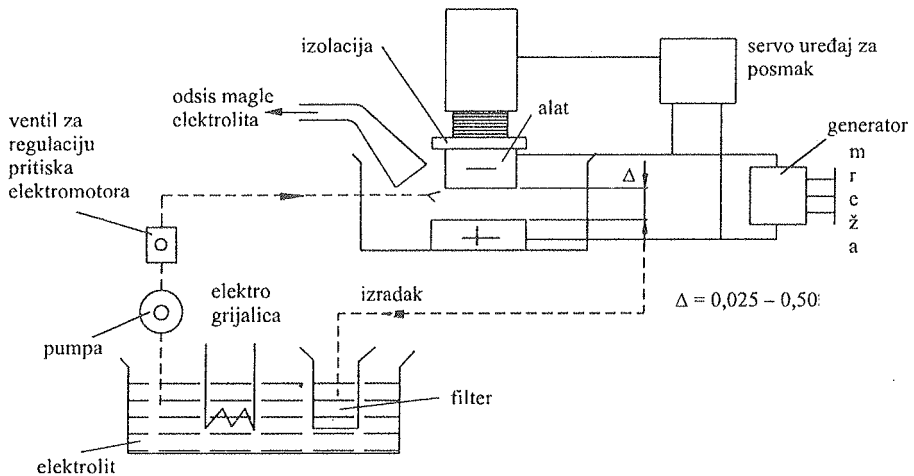
Prilikom obrade u nepokretnom elektrolitu, kao i što mu samo ime kaže, ne dolazi do kretanja - tečenja elektrolita a obrada odnosno odnošenje materijala uzrokovano je anodnim rastvaranjem.

Posebna razmatranja u elektrohemijskoj obradi zaslužuju elektroliti. Njihovo je osnovno svojstvo da su elektroprovodljivi, tj. da su skloni jonizaciji. To su najčešće kiseline, lužine (baze) i soli rastopljene u vodi.

Glavne prednosti ove metode su što ne dolazi do trošenja elektrode-alata i vrlo je pogodna za serijsku proizvodnju.

Najčešća primjena elektrohemijske obrade je u oblasti izrade profilnog brušenja, profilisanja, obrade rotacionih tijela, teškoobradljivih materijala itd.

Kao nedostatak elektrohemijske obrade, svakako je i visoka cijena rada, cijena koštanja mašine-uređaja i potreba za visokom obučenošću radnika-poslužioaca mašine.



Slika 3.2 Principijelna šema rada elektrohemijske mašine

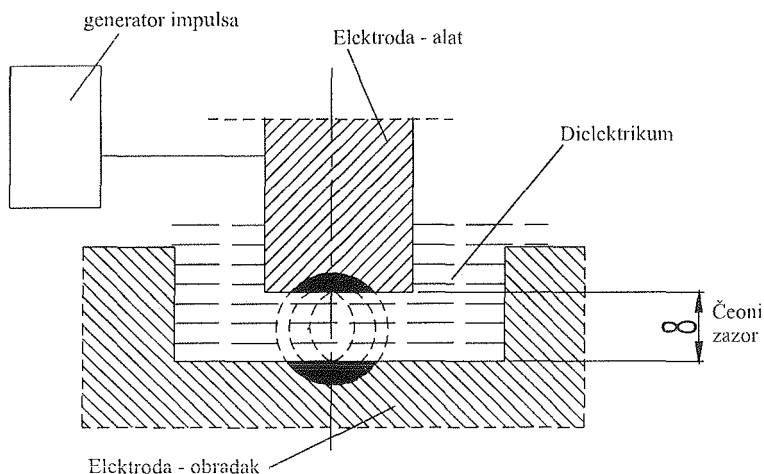
Materijal, od koga se pravi elektroda-alat, je najčešće od nehrđajućih čelika, titana, bakra, mesinga itd.

3.2 ELEKTROEROZIONA OBRADA

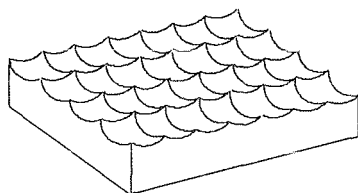
Elektroeroziona obrada je najrasprostranjeniji način obrade nekonvencionalnim metodama. Zasniva se na iskorištenju električne energije, koja se u zoni obrade pretvara u toplotu. Kao i kod elektrohemijske obrade, i ovdje su elektroda-alat i elektroda-obradak uronjene u dielektričnu sredinu (dielektrikum).

Dielektrikum je prostor u kome nema slobodnih atoma ili atomskih grupa sa električnim nabojem. Tu spadaju vakuum i svi električni izolatori. Kod procesa elektroeroziona obrade kao dielektrikum najčešće se koristi transformatorsko ulje.

Karakteristika za elektroerozionu obradu je što je njenom upotrebom omogućena obrada spoljašnjih površina složenog oblika a naročito materijala koji posjeduju visoku tvrdoću, krtoost ili žilavost. Koristi se i za bušenje provrta i uvrta. Ovom metodom se, takođe, mogu odslikavati ukovnji, matrice, kokile i slično.



Slika 3.3 Šematski prikaz principa elektroeroziona obrade



Slika 3.4 Erodirana površina

Kao što se vidi na slici 3.3, da bi uopće moglo doći do elektroerozionog procesa, osim što su elektrode potopljene u dielektrikum mora biti ostvaren i određen zazor između elektroda. Dakle, pri određenom zazoru od 10-200 μm dolazi do iskrenja odnosno električnog pražnjenja.

Naime, napon na elektrodama raste dok ne postigne tzv. kritičnu vrijednost pri kojoj dielektrikum dijelom jonizira stvarajući elektroprovodljivi kanal za jaku struju. U tom trenutku, u kome dolazi do iskrenja koje vrlo kratko traje, razvija se temperatura od nekoliko hiljada do nekoliko desetina hiljada $^{\circ}\text{C}$.

Rastojanje između alata i obratka mora se održavati konstantnim što se postiže pomoću servomehanizma.

Iskrenje se nastavlja, po pravilu, između dvije najbliže tačke alata i obratka. Otisak na obratku je u vidu ovalnog kratera, kao što se i vidi na Slici 3.4, dubine nekoliko stotih dijelova milimetra.

Zadatak dielektrikuma je i odvođenje čestica osnovnog materijala (obratka) iz zone obrade. Najveću praktičnu primjenu elektroeroziona obrade imaju sljedeće metode:

- elektrovarnična metoda,
- elektroimpulsna metoda i
- elektrokontaktna metoda.

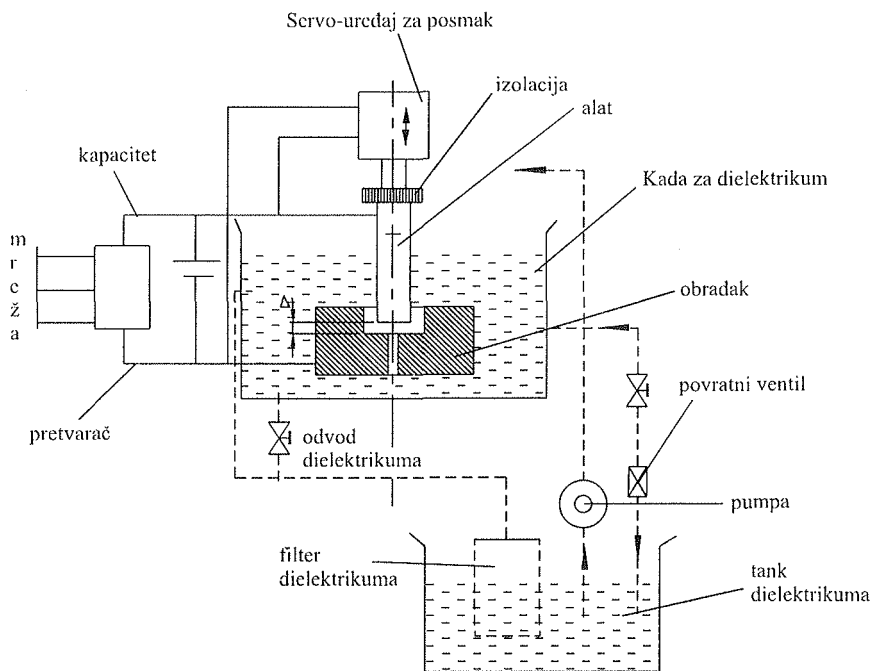
Kod elektrovarnične metode impuls struje se dobija u kraćim intervalima i sa relativno većim pauzama. Ova metoda je, u odnosu na ostale, niskoproduktivna a povećano je i trošenje elektrode koja predstavlja alat.

Kod elektrimpulsne metode strujni impulsi su duži, sa malim pauzama između njih. Produktivnost i smanjenje utroška alata su poboljšani za oko 20 puta u odnosu na prethodnu metodu.

Pri elektrokontaktnoj metodi, kao izvor struje koriste se mehanički generatori impulsa. Obrada se vrši u vazduhu ili vodi. Metoda je vrlo proizvodna i koristi se za grubu obradu.

Elektroda, koja u procesu obrade predstavlja alat, pravi se tako da svojim oblikom odgovara obliku koji se želi postići (nešto kao negativ na fotografskom filmu).

Kao materijal za elektrodu-alat najčešće se upotrebljavaju : bakar, mjed, grafit ili specijalni sinter-metali za elektrode itd.



Slika 3.5 Principijelna šema elektroeroziona mašine

3.3 ULTRAZVUČNA OBRADA

Obrada svih tvrdih i krutih materijala je oduvijek bila veoma problematična. Na tom planu ultrazvučna obrada pruža prilično dobre rezultate, a pogotovu za obradu materijala kao što su: keramika, mramor, porculan, drago kamenje, staklo, germanijum itd., čija su glavne osobine tvrdoća i krtoš.

Ultrazvučna obrada svoj princip rada zasniva na tzv. ultrazvučnim oscilacijama. Obrada osnovnog materijala (obratka) vrši se zrnima abraziva, koji energiju za svoje kretanje dobijaju od izvora koji vibrira ultrazvučnom frekvencijom.

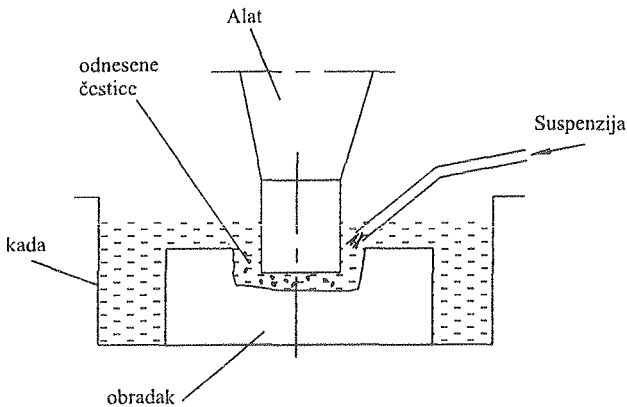
Abrazivi su materije velike tvrdoće koje služe kao sredstvo za brušenje, poliranje i čišćenje tvrdih površina (najpoznatiji predstavnici abraziva su: korund, kvarc, dijamant itd.).

Usljed pojave magnetostrikcije tj. promjene dužine materijala izazvane djelovanjem magnetnog polja, nastaju mehaničke ultrazvučne oscilacije feromagnetičnog jezgra odnosno u ovom slučaju nosača alata.

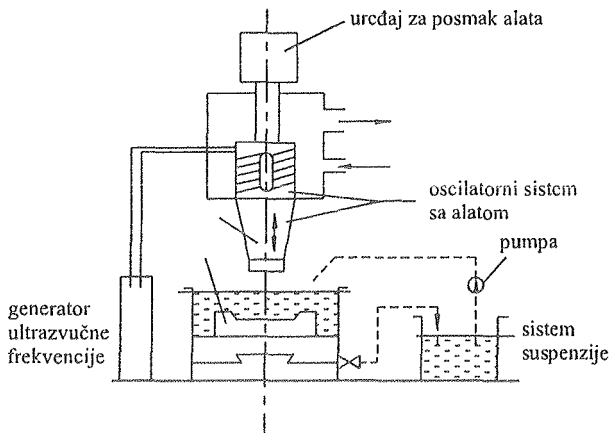
Ultrazvuk je zvuk pri frekvencijama većim od 20 000 Hz, odnosno zvuk koji se prostire iznad područja čujnosti.

Ultrazvučni talasi šire se pravolinijski pa se stoga mogu usmjeravati u željenom pravcu. Omogućeno je i usmjeravanje ultrazvučnih talasa na malu površinu i na njoj, zapravo koncentrisati svu energiju ultrazvučnog talasa.

Pod udarom abraziva, sa površine obratka otkidaju se male krte čestice materijala koje suspenzija pod pritiskom odnosi iz zone obrade.



Slika 3.6 Šema procesa ultrazvučne obrade



Slika 3.7 Principijelna šema ultrazvučne mašine

Sa Slike 3.6 vidi se da alat koji vibrira ultrazvučnom frekvencijom, zrnima abraziva daje dovoljno kinetičke energije, koju oni velikom brzinom tj. udarom prenose na obradak. Udarajući u obradak, sa obratka se skidaju čestice materijala, koje tečnost odnosi iz zone obrade zajedno sa (zbog udarca) usitnjenim abrazivom, ujedno donoseći u zonu obrade nove količine abraziva.

Prednosti ovog načina obrade su:

- omogućena je obrada elektroprovodnika,
- moguće je izvesti obradu sa vrlo velikim stepenom tačnosti (0,01 - 0,02 mm), kao i klasom hrapavosti površine 5. ili 6.,
- ne dolazi do lokalnog zagrijavanja u zoni obrade, samim tim ne dolazi, zbog velike temperature, do lokalnog zakaljivanja,
- relativno je visoka i proizvodnost.

Nedostaci ovog načina obrade ogledaju se u sljedećem:

- prilično je složena i komplikovana konstrukcija i izrada alata (vezana su za provjeru akustičnosti),
- nije se pokazala valjanom obrada teškoobradivih žilavih materijala.

Za izradu alata najčešće se koriste konstrukcioni ugljenični i niskolegirani čelici (Cr-čelici). Najbolje su se pokazali alati izrađeni od titanovih legura, ali su u isto vrijeme i vrlo skupi.

Ultrazvučna obrada je najčešće primjenjivana metoda u poslovima: dubljenja, izrezivanja i razrezivanja, glodanja, bušenja, graviranja, te u izradi krivolinijskih rupa i otvora itd.

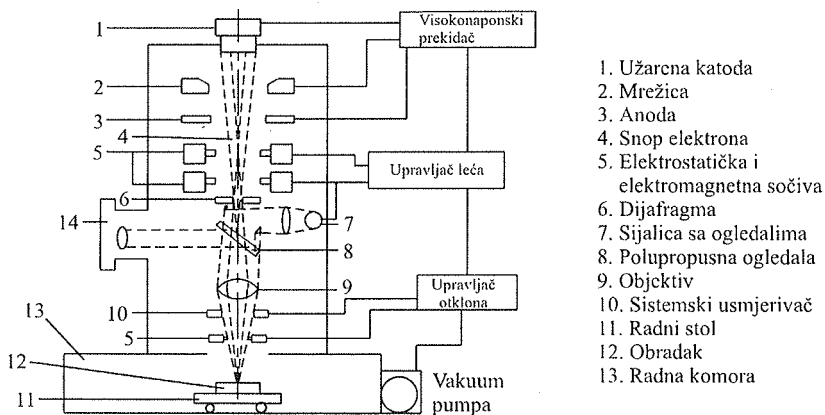
Ultrazvučna obrada nije našla mjesto u općoj mašingradnji.

3.4 OBRADA SNOPIOM ELEKTRONA

Obrada snopom elektrona je metoda obrade koja se zasniva na visokoj temperaturi u zoni obrade, odnosno korišćenju energije elektrona koji se kreću velikim brzinama. Udarajući o površinu obratka pri čemu se oslobađa temperatura koja topi osnovni materijal dolazi do isparavanja otpatka.

Temperatura u zoni obrade kreće se između 4000 i 6000 $^{\circ}\text{K}$, što je dovoljno da se efikasno može obrađivati ogromna većina poznatih tehničkih materijala.

Obrada snopom elektrona našla je veliku primjenu u oblasti zavarivanja, zatim u elektroindustriji, kod izrade raznih sita, filtera i kanala, kod perforiranja vještačke kože itd.



Slika 3.8 Šema mašine za obradu snopom elektrona

Kao što se vidi na prethodnoj slici, pod djelovanjem visokog napona zagrijava se katoda do usijanja koja zatim počinje emitovati elektrone. Elektroni se kreću zadatim usmjerenjem. Prolazeći između visokonaponskih elektroda (od oko 150 KV) elektroni se ubrzavaju, tako da se brzina njihovog kretanja, nakon prolaska pored elektroda, kreće oko 150 000 km/h. Prolazeći dalje kroz sistem ogledala i sočiva (leća) moguće je izvršiti usmjerenje njihovog kretanja na površinu prečnika 2-3 hiljadita dijela milimetra.

Snop elektrona može se kontrolisano usmjeriti tako da se može obrađivati bilo koja tačka na obratku, bilo na površini ili bilo gdje na dubini ili čak na suprotnoj strani obratka, gledano u smjeru kretanja elektrona.

Kvalitet obrade ovom metodom je vrlo visok.

Obradom snopom elektrona vrlo efikasno se mogu obrađivati materijali kao što su: dijamant, staklo, keramika, drago kamenje itd.

Velika prednost ove metode je što je omogućena obrada na vrlo malim komadima.

Kao što se može vidjeti na slici 3.8, potrošnje alata nema, zapravo potrošnja se ogleda samo u troškovima održavanja mašine.

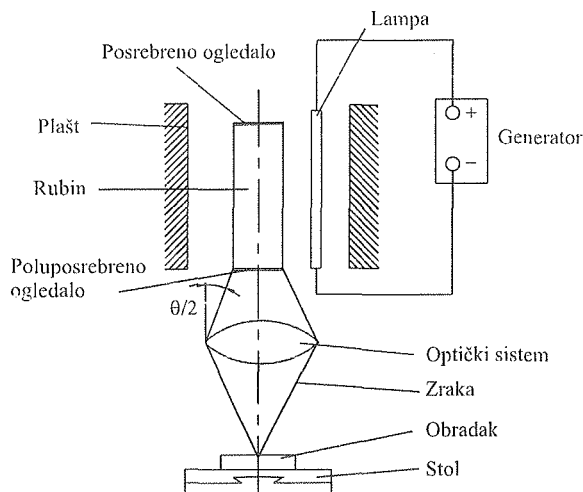
Pri obradi snopom elektrona obradak se mora postaviti u posebno pripremljenu vakuumsku komoru na pomjerljivom stolu.

3.5 OBRADA LASEROM

Obrada laserom ili laserska obrada je još jedna od metoda koja obradu osnovnog materijala vrši topljenjem tog materijala, praćenom visokim temperaturama u zoni obrade.

Riječ laser nastala je od početnih slova engleskih riječi što u prevodu znači *pojačanje svjetlosti pomoću stimulisanje emisije zračenja*, što zapravo i čini princip rada obrade laserom.

Primjena lasera u tehnici je od neprocjenjivog značaja. Svoje mjesto laseri su našli u: izradi raznih filtera, dijafragmi, industriji satova, elektroindustriji, zavarivanju, u izradi mikrootvora, dok se gasni laseri upotrebljavaju za precizno odsijecanje raznih materijala. Osim u mašingradnji laseri su vrlo primjenjivi i u medicini, biologiji, hemiji, fizici i drugim granama tehnike.



Slika 3.9 Šema obrade i šema rubinskog lasera

Kao što se vidi na Slici 3.9 prikazan je jedan od tipova lasera. Specijalno fino obrađeni (polirani) rubin smješten je u kućište paralelno sa impulsnom ili pravom lampom. Gornji dio kristala rubina je posrebn dok je donji dio poluposrebn. Impulsna lampa vrlo je slična lampi (blicu) kod fotoaparata. Okolo kristala i lampe nalazi se površina koja dobro reflektuje (prelama i odbija) svjetlost. Zrake se dalje, usmjeravaju prema optičkom sistemu koje fokusira laserski zrak (snop) na postavljeni predmet, a koji je postavljen na radni sto.

Glavni nedostatak lasera je što je još uvijek mali stepen iskorištenja, kreće se od 1 - 4 % , zatim dubina do koje se može vršiti obrada je ograničena i prilično je komplikovan proces obrade.

Prednosti lasera su u sljedećem:

- omogućena je obrada na teškodostupnim ili za druge metode obrade nedostupnim mjestima,
- laserski zrak može prolaziti kroz jednu sredinu (medij) a u drugoj sredini da vrši obradu na radnom predmetu (postiže se fokusiranjem),
- omogućena je obrada krutih materijala (keramike, dijamanta itd.) ,
- laserska mašina je relativno jednostavna itd.

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Koje su to glavne karakteristike metoda obrade odnošenjem?
2. Koje su prednosti obrade elektrofizičkim i elektrohemijskim metodama?
3. Objasniti princip rada elektrohemijske obrade.
4. Objasniti elektroerozionu obradu.
5. Na kom principu funkcioniše ultrazvučna obrada?
6. Objasniti princip rada obrade snopom elektrona.
7. Gdje se sve primjenjuje obrada laserom?

4. OBRADA MATERIJALA LIVENJEM

4.1 ZNAČAJ TEHNOLOGIJE LIVENJA I VRSTE TEHNOLOŠKIH PROSESA LIVENJA

Livenje je vrsta mehaničke obrade kada se materijal, od koga želimo oblikovati neki predmet, rastopi i u tečnom stanju uliva u pripremljeni kalup, gdje prilikom hlađenja i očvršćavanja dobija oblik i dimenzije prema reljefu kalupa.

Livenjem, ustvari, počinje osnovna faza oblikovanja bilo kog metala i legure radi dobijanja pogodnog oblika za daljnju preradu, mada se najčešće kada je riječ o livenju, misli na livenje proizvoda koji se mogu upotrebljavati u eksploataciji bez ili sa naknadnom površinskom obradom. Livenje metala i legura ima veoma značajnu ulogu u tehnologiji obrade metala, jer odlivci danas čine znatan udio u proizvodnji sastavnih dijelova velikog broja mašina i uređaja, a u nekim slučajevima je riječ o dijelovima koji se ne bi mogli ni dobiti drugim postupcima obrade. Tehnologija livenja je toliko uznapredovala da je danas moguća izrada odlivaka velikih dimenzija, težine i složenog oblika kao i sa užim tolerancijama (sa preciznošću od 1/100 mm), koji se nakon čišćenja ugrađuju bez ikakve dorade. Livenjem je moguće oblikovati sve tehničke metale i legure. Takođe je omogućena proizvodnja alata, livenjem iz čelika, koji se u plastičnom stanju daju vrlo teško obrađivati.

Livenjem se izrađuju predmeti složenijih oblika u većim serijama.

Nakon livenja čelični odlivci se moraju žariti a zatim lagano hladiti. To je kod čeličnih predmeta obavezno, jer sve stjenke odlivka nisu jednake debljine, pa usljed nejednolikog skrućivanja ostaju u odlivku unutrašnja naprezanja, koja mogu biti uzrokom nastanka pukotina. Osim toga, nakon livenja struktura čelika je gruboznasta, a tek nakon žarenja postaje sitnozrnata. Ako ima dovoljno vremena, odlivci se podvrgavaju termičkom postupku starenja, poslije čega se dobije umiren materijal od kojeg se mogu izrađivati recimo kućišta alatnih mašina ili turbina bez opasnosti od bilo kakve deformacije.

Prema metalu koji se lije razlikujemo i tehnološke procese livenja, a to su:

a/ livenje legura željeza, gdje spada:

- livenje sivog liva, koji može biti mašinski, modificirani i nodularni sivi liv,
- livenje tvrdog liva,
- livenje temper liva,
- livenje čeličnog liva.

b/ livenje lakih metala i njihovih legura,

c/ livenje obojenih metala i njihovih legura.

Prema tehnologiji izrade kalupa, za livenje, razlikujemo sljedeće postupke:

- livenje u pjaščanim kalupima,
- livenje u metalnim kalupima (kokilama),
- centrifugalno livenje,
- livenje pod pritiskom,
- neprekidno (kontinuirano) livenje i dr.

Osnovni postupak izrade odlivaka je postupak livenja u pješčanim kalupima, u kojima se dobija oko 80 % odlivaka, pa ćemo ovom postupku posvetiti posebnu pažnju.

Međutim, prije upoznavanja sa pojedinim postupcima livenja potrebno je usvojiti osnovne pojmove u vezi sa procesom livenja (Slika 4.1).

Model - je uzorak izrađen, većinom od drveta, presvučen određenim lakom i uvećan od odlivka za dimenzije skupljanja usljed hlađenja.

Kalup. Kalupom se naziva šupljina koja se izrađuje u pijesku uz pomoć modela i služi da se u njega ulije rastopljeni metal od koga se želi dobiti odlivak. Oblik šupljine u kalupu odgovara obliku odlivka sa dimenzijama uvećanim za procenat skupljanja metala koji se lije i dodacima za eventualnu naknadnu obradu.

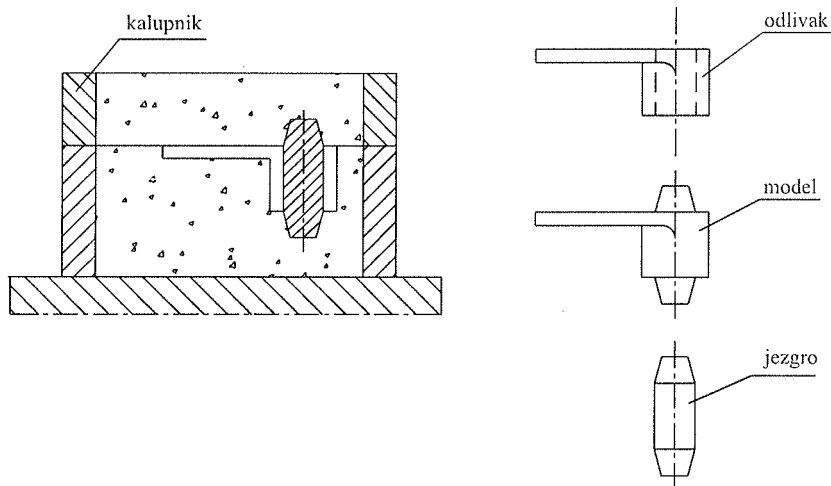
Radovi kojima se izrađuje kalup nazivaju se kalupovanjem.

Kokila - je bilo koji kalup izrađen od metala.

Kalupnik (šasija) - je metalni okvir kalupa u kojem se vrši nabijanje pijeska, odnosno drži nabijenim pijesak u kalupu.

Jezgro - je dio kalupa koje služi za formiranje unutrašnjih šupljina u odlivku.

Odlivak. Odlivkom nazivamo gotov predmet koji se dobije kada rastopljeni materijal očvrstne u kalupu.



Slika 4.1 Osnovni elementi postupka - livenja

Materijali koji se dobro obrađuju postupkom livenja su: sivo liveno željezo, bronza, cink, mesing, olovo i neki aluminijски livovi.

Teško se lije: čelik, aluminijum i bakar, jer su kod livenja gusti, a hlađenjem se, povrh toga, još jače stežu.

4.2 LIVENJE U PJEŠČANIM KALUPIMA

Za izradu kalupa kod ovog postupka koristi se kaluparski pijesak. Kalupi izrađeni iz kaluparskog pijeska se mogu upotrijebiti samo jedanput, jer se razbijaju prilikom vađenja odlivka iz kalupa. Međutim, materijal iz kojeg je bio izrađen kalup može se nakon odgovarajuće pripreme ponovo upotrijebiti.

Tehnološki proces izrade gotovog odlivka je prilično obiman i obuhvata sljedeće faze:

- pripremu materijala za izradu kalupa i jezgra,
- izradu modela,
- izradu kalupa i jezgra,
- pripremu uložka (metalni uložak i dodaci),
- topljenje uložka,
- pripremu kalupa za livenje (sušenje, sastavljanje i drugo),
- ulivanje metala u kalup,
- vađenje odlivaka i čišćenje,
- termičku obradu odlivaka,
- mehaničku obradu odlivaka.

4.2.1 MATERIJAL ZA IZRADU KALUPA I JEZGRA

Kalupi izrađeni samo za jednu upotrebu su uglavnom od pijeska, mase i ilovače. Prema zahtjevima koje iziskuje jedan ovakav kalup, materijali moraju da imaju i određene osobine, a to su:

- plastičnost, tako da se daju lahko oblikovati,
- otpornost na temperaturu livenja materijala (da se ne tope i da se ne zapeku za odlivak),
- čvrstoću da izdrže pritisak rastopljenog metala,
- poroznost radi propustljivosti gasova,
- elastičnost nakon kalupovanja tako da omogućavaju skupljanje metala prilikom skrućivanja,
- mogućnost laskog razbijanja, kako bi se nakon livenja odlivci mogli lahko očistiti,
- da ih ima u dovoljnim količinama i
- da je jeftina priprema za kalupovanje.

U prirodi nema čistih materijala koji bi odgovarali navedenim zahtjevima, pa se za izradu kalupa upotrebljavaju mješavine raznih vrsta materijala kako bi se dobio takav kaluparski materijal koji djelimično udovoljava navedenim zahtjevima. Za izradu kalupa i jezgra upotrebljavaju se:

- pijesak za izradu kalupa,
- masa za izradu kalupa,
- ilovača za izradu kalupa,
- pijesak za izradu jezgra i
- ostali materijali za izradu kalupa i jezgra.

Pijesak za izradu kalupa. Prema načinu proizvodnje, kaluparski pijesak se može podijeliti na: prirodni, sintetički i polusintetički.

Prirodni livački pijesak se nalazi u prirodi kao prirodna mješavina kvarca i kaolinske gline, tako da se može upotrijebiti za izradu kalupa bez prethodne prerade, odnosno bez posebnih dodataka prije kalupovanja. U prirodnom livačkom pijesku može biti i štetnih sastojaka koji nepovoljno utiču na osobine kaluparskog pijeska kao što su: željezni oksid, magnezijev oksid, vapnenac i oksidi alkalija. Ukupan sadržaj primjesa ne smije biti veći od 7%.

Prema sadržaju gline pijesak se dijeli na:

- čisti kvarcni pijesak, sa sadržajem do 2% gline,
- siromašni pijesak, sa sadržajem od 2 do 8% gline,

- bogat pijesak, sa sadržajem od 8 - 15 % gline i
- vrlo bogat pijesak sa sadržajem iznad 15 % gline.

Siromašni pijesak se upotrebljava za izradu sirovih kalupa, tj. kalupa u koje se odmah lije nakon izrade, bez prethodnog sušenja. Ovi su kalupi jeftiniji od sušenih i upotrebljavaju se za livenje odlivaka manjih i srednjih dimenzija.

Prilikom kalupovanja odlivaka većih dimenzija koristi se bogati i vrlo bogat pijesak. Kalupi od ovog pijeska se obavezno suše prije livenja čime im se povećava čvrstoća i poroznost.

Sintetički livački pijesak proizvodi se iz pranog kvarcnog (kremenog) pijeska, a kao vezivo dodaje mu se bentonitna glina. Sintetički pijesak ima sve veću primjenu, naročito za izradu sirovih (vlažnih) kalupa za čelični liv. Za ovaj pijesak je naročito važno da: ima što veću propustljivost za gasove, sadrži što manje vlage i posjeduje visoku vatrootpornost.

Prednosti sintetičkog pijeska u odnosu na prirodni su u mogućnosti mijenjanja tehnoloških osobina, tj. mogućnosti podešavanja zrnitosti i količine sredstava za vezivanje (gline).

Polusintetički pijesak je siromašni prirodni kaluparski pijesak, srednje zrnovitosti, kome se dodaje do 3% bentonitne gline, čime mu se poboljšava plastičnost i čvrstoća.

Masa i ilovača. Masa za izradu kalupa je prirodna mješavina srednje zrnastog ili krupnozrnastog kvarcnog pijeska sa sadržajem preko 20% gline i tzv. posnih sredstava. Posna sredstva se dodaju radi povećanja poroznosti, a to su najčešće mljeveni šamot, mljevena vatrootporna opeka, grafit i drugi. Masa od koje se izrađuju kalupi za čelični liv mora biti i vatrootporna, a dodatkom mljevenog zrnatog šamota dobija tu osobinu. Od mase se izrađuju kalupi velikih dimenzija za livenje odlivaka od livenog gvožđa i čeličnog liva. Prije upotrebe kalupi se obavezno suše.

Ilovača je prirodna mješavina pijeska sa sadržajem od 20 - 50 % gline, manje količine krečnjaka i željeznih oksida. Zbog velike količine gline slabo je propustljiva i puca prilikom sušenja pa joj se pri izradi kalupa dodaje piljevina, pljeva, treset i drugo. Od nje se izrađuju najveći odlivci, kao na primjer: za parne cilindre, kućišta turbina, velike livene posude i drugo. Kalupi se prije upotrebe obavezno suše.

Materijali za izradu jezgra. Kao što smo ranije rekli, jezgra formiraju unutrašnju šupljinu u odlivku, pa su za vrijeme livenja okružena tečnim metalom i usljed toga izložena mehaničkim i termičkim naprezanjima. Zbog toga jezgra moraju imati bolje osobine od kalupa, a posebno moraju imati :

- visoku vatrootpornost,
- veliku propustljivost za gasove,
- veliku čvrstoću,
- veliku elastičnost i
- lahko raspadanje poslije livenja, radi laskog odstranjivanja iz šupljine odlivka.

Jezgra se izrađuju od kvarcnog pijeska po mogućnosti okruglog zrna srednje krupnoće, uz dodatak posebnih veziva. Zadatak veziva je da jezgri daju veliku čvrstoću, propustljivost gasova i elastičnost. Veziva moraju imati i tu osobinu da njihovo dještvo nestane nakon livenja, tj. da se jezgro lahko raspada i istresa iz odlivka. Kao vezivo za jezgra upotrebljavaju se ulja, brašna veziva, smole, vodeno staklo, bentonit i drugo.

Jezgra sa uljnim vezivom su dosta dobra, ali im je proizvodnja dosta skupa. Pripremljenu masu treba miješati specijalnom mješalicom, a jezgra poslije oblikovanja sušiti. Upotrebljavaju se biljna (laneno, pamukovo i dr.) i mineralna ulja (derivati nafte). Temperatura sušenja jezgra se kreće u granicama od 170 - 200 °C.

Na temperaturi od oko 800 °C organski dijelovi ulja se raspadaju, a time i jezgre tako da se lahko vade iz odlivka.

Brašnasta (skrobna) veziva su jeftinija od uljnih i imaju manju čvrstoću. Na vazduhu se lahko raspadaju. Prilikom pripreme, brašno, (dobijeno od kukuruza, pšenice ili raži) se miješa sa vodom u kašu. Kaša zagrijana do vrenja dodaje se pijesku u omjeru 1: 30. Sušenje jezgra se vrši na temperaturi od 170 - 190 °C.

Smole koje se upotrebljavaju kao vezivo za jezgra mogu biti vještačke smole, sulfidna lužina i kolofonijum. Od vještačkih smola najviše se koriste tekuće smole. Vrijeme sušenja jezgri sa vezivom od vještačkih smola znatno je kraće u odnosu na sušenje jezgra sa uljnim vezivom. U posljednje vrijeme proizvode se smolna veziva koja očvršćavaju bez prethodnog sušenja, čime se izbjegava transport jezgra do peći za sušenje.

Sulfidna lužina kao vezivo za jezgra daje jezgru dobru elastičnost i vrlo je jeftina.

Kolofonijum se dodaje kvarcnom pijesku u iznosu od 4 - 5 % , sa oko 3,5% vode. Nakon formiranja jezgra se suše na 130 °C.

Cement se, takođe, upotrebljava kao vezivno sredstvo prilikom izrade kalupa i jezgra od kvarcnog pijeska. Cement kao vezivo je pogodan prilikom kalupovanja većih odlivaka. Smjesa pijeska, cementa i vode u određenim procentima propušta dobro plinove, ali je proces kalupovanja dugotrajan jer sušenje kalupa traje dugo.

Vodeno staklo i ugljendioksid u posljednje vrijeme sve više nalaze primjenu prilikom izrade kalupa i jezgra, jer omogućavaju izradu kalupa i jezgri koje nije potrebno sušiti prije livenja. Jezgra i kalupi izrađuju se od kvarcnog pijeska kome se dodaje određena količina veziva koje sadrži vodeno staklo i u manjim količinama drugi dodaci kao što su asfaltna veziva ili prašina kamenog uglja. Nakon izrade kalupa ili jezgra vrši se uduvanje ugljendioksida. Vrijeme otvrdnjavanja zavisi od količine pijeska u kalupu ili jezgri, koji treba otvrdnuti, i najčešće se kreće od 15 - 60 sekundi.

Prednosti ovog postupka su sljedeće:

- nije potrebno sušiti kalupe ili jezgra,
- čvrstoća jezgra je dovoljna, pa je najčešće nepotrebna armatura,
- smanjuje se škart usljed lomljenja jezgra,
- ne razvijaju se prilikom livenja neugodne pare,
- kalupi i jezgra mogu se praviti na mjestu livenja i
- moguća je primjena svih postupaka prilikom izrade kalupa i jezgra , kako kod ručne tako i kod mašinske izrade.

4.2.2 OSTALI MATERIJALI POTREBNI PRILIKOM PROIZVODNJE KALUPA I JEZGRA

U ostale materijale ubrajamo one materijale koji se dodaju kaluparskom materijalu sa ciljem povećanja poroznosti kalupa, kao i onemogućavanja lijepljenja zrna pijeska za model, odnosno stapanje zrna pijeska sa površinom odlivka. U te svrhe upotrebljavaju se: drveni i kameni ugulj u prahu, crnilo ili premaz, likopodijum i drugo.

Prah kamenog uglja najčešće se dodaje kalupima za livenje sivog i temper liva, a on istovremeno povećava poroznost kalupa i sprječava lijepljenje pijeska za model na sljedeći način:

- propustljivost se povećava izgaranjem ugljenog praha nakon ulivanja metala tako da u kalupnoj masi nastaju mali kanali za odvod gasova i vazduha,

- s druge strane, prilikom sagorijevanja uglja nastaje tanki gasni sloj između liva i površine kalupa, što sprječava direktni dodir pijeska sa tečnim metalom u toku livenja.

Prah drvenog uglja se upotrebljava za zaprašivanje površine sirovih kalupa i to prilikom livenja sitnih odlivaka sa tankim zidovima. Kod odlivaka sa debelim zidovima dolazi do izgaranja praha prije očvršćavanja zidova, pa se iz tog razloga ne vrši zaprašivanje.

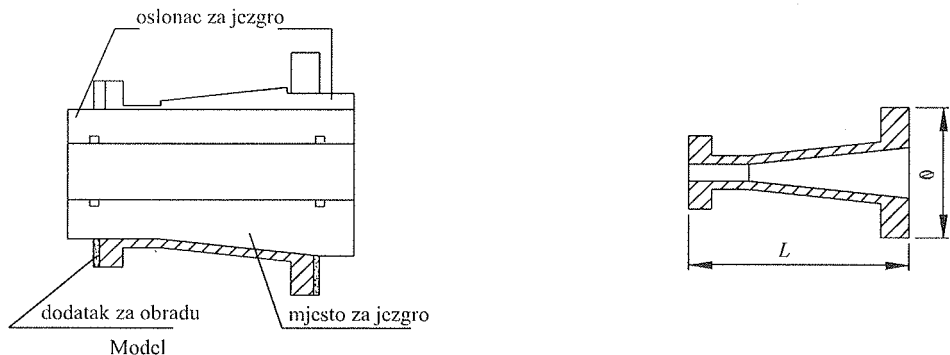
Premaz (crnilo) sastoji se iz glinene vode i grafita, a često se dodaju prašnasti drveni ugalj ili koks. Obično se premaz prokuha prije nanošenja, čime se postiže dobro miješanje sastojaka. Nanošenje premaza vrši se četkom ili raspršivačem (pomoću komprimiranog vazduha).

Likopodijum je biljni žučkasti prah, i on je najpogodniji za zaprašivanje drvenih modela. Zbog visoke cijene likopodijuma (nabavlja se iz uvoza) često se upotrebljava mješavina talka, drvenog uglja, krede i umjetnog pudera. Kod metalnih modela umjesto likopodijuma upotrebljava se petroleum.

4.2.3 MODELI, JEZGRENICI I KALUPNICI

Modeli - su tijela koja imaju oblik radnog predmeta uvećan za dimenzije skupljanja pri hlađenju ili za eventualnu mehaničku obradu (Slika 4.2). Veličina skupljanja predmeta zavisi od vrste livačkog materijala i za sivi liv iznosi oko 1% , za čelični liv oko 2% a za legure bakra oko 1,5%. Veličina dodatka za obradu, takođe, zavisi od vrste materijala, dimenzija odlivaka i vrste predviđene obrade. Modeli se najčešće izrađuju od drveta. Jednostavniji modeli se izrađuju iz jednog komada, a složeniji iz više slojeva, koji se međusobno spajaju lijepljenjem. Takođe, modeli se izrađuju i od metala kao što su legure lakih metala, mesing, liveno gvožđe i čelik. Metalni modeli su skuplji ali imaju znatno duži vijek trajanja u odnosu na drvene modele. U posljednje vrijeme sve se više rade modeli od plastičnih masa, čime je omogućena brža i jednostavna izrada, relativno niska cijena a trajnost im je skoro kao kod metalnih modela.

Da bi se modeli razlikovali oni se, za različite vrste metala i legura, boje različitim bojama. Tako, modeli namijenjeni za izradu kalupa za sivi liv boje se crvenom bojom, za čelični liv plavom itd.



Slika 4.2 Model i radni predmet

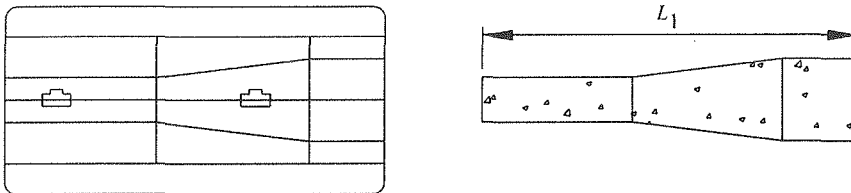
Jezgrenici - ili kutije za jezgra se upotrebljavaju za izradu jezgra (Slika 4.3). Jezgrenici se kao modeli, izrađuju od drveta ili metala. Konstrukcija jezgrenika zavisi od konstrukcije i oblika jezgra.

Da bi jezgre imale potrebnu krutost, u njihovu unutrašnjost se stavlja žica, razne cijevi, čelični kostur i slično. Za centriranje i osiguranje položaja jezgra u kalupu za vrijeme livenja upotrebljavaju se podupirači jezgra.

Umjesto modela, odnosno jezgrenika mogu se koristiti profilisane daske koje se nazivaju šablonima. Šabloni su urađeni tako da imaju profil koji odgovara polovini profila odlivka, odnosno jezgra. Rotacijom ili povlačenjem (prilikom izrade jezgra) oštra ivica na profilisanoj strani šablona skida višak materijala dajući pri tom odgovarajući profil kalupu odnosno jezgri.

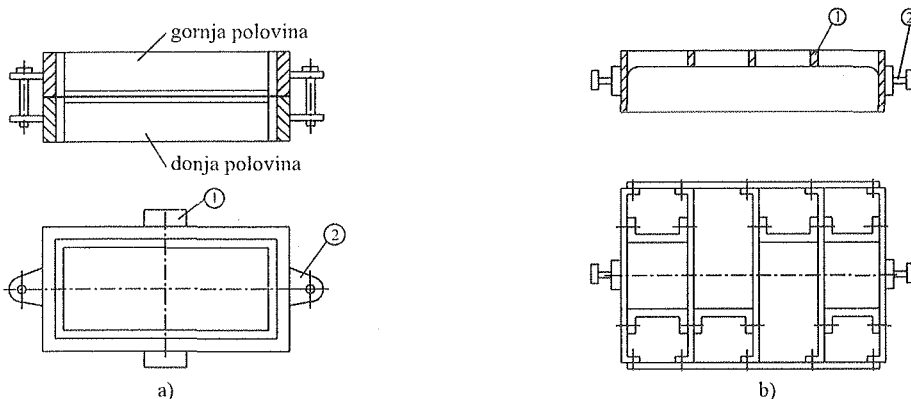
Da bi se radne ivice šablona (koje skidaju višak materijala) sačuvale od habanja okivaju se čeličnim limom.

U poređenju sa izradom modela i jezgrenika izrada šablona je znatno jeftinija, ali je njihovom primjenom kvalitet izrade nešto slabiji i mogu se koristiti, uglavnom, za jednostavnije oblike kalupa odnosno jezgre.



Slika 4.3. Jezgrenik i jezgro

Kalupnice ili šasije. Kalupnice su ramovi koji služe za prihvatanje materijala od koga se izrađuje kalup. Zbog toga, kalupnice trebaju biti krute i geometrijski stabilne, a po mogućnosti i što lakše. Izrađuju se od sivog liva ili čeličnog lima, a za livenje lakih metala od legura aluminijuma. U zavisnosti od oblika odlivka, kalupnice mogu imati : pravougaoni, kvadratni ili bilo koji drugi oblik (Slika 4.4 a). Na sebi imaju graničnike (1) za centriranje prilikom sastavljanja kalupa i ručke (2) za hvatanje kako bi se lakše prenosile, postavljale i skidale pri kalupovanju. Veće kalupnice (Slika 4.4 b) imaju umjesto ručica izdanke u vidu čepova (1) za hvatanje dizalicom, jer se nakon kalupovanja ne mogu ručno prenositi. One takođe imaju uzdužna i poprečna rebra (2) koja služe za zadržavanje i bolje držanje pijeska u jednoj cjelini, a izvedena su tako da ne smetaju formiranju šupljine pomoću modela.



Slika 4.4. Kalupnice

Izrada kalupa i jezgra. Da bi odlivak bio odgovarajućeg kvaliteta, moraju i kalupi biti kvalitetni, jer kvalitet kalupa u znatnoj mjeri utiče na kvalitet odlivka.

Kalupi se mogu praviti ručno i mašinski.

Ručna izrada kalupa i jezgra primjenjuje se prilikom pojedinačne izrade livenih dijelova, pri čemu sve poslove obavlja radnik ručnim putem. Ovim postupkom se dobija vrlo neujednačen kvalitet, kako kalupa tako i odlivka.

Za ručno kalupovanje koristi se različit alat kao što su mistrije ili livačke lopatice, čelične kuke, livačke igle ili šila, razna glačala i drugo.

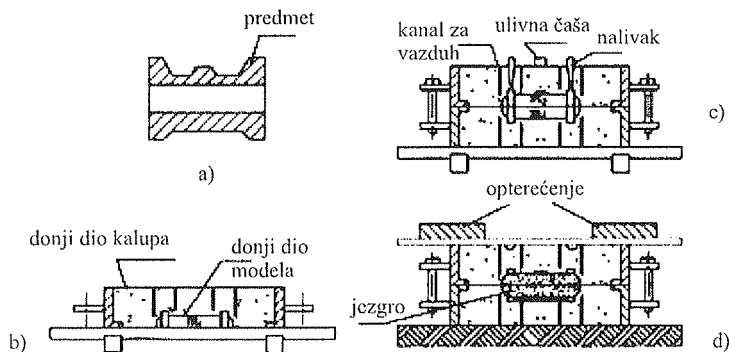
Ručna izrada može biti u podu livnice i u kalupnicama.

Znatno širu primjenu ima izrada kalupa u kalupnicama. Kod ovog načina obično se kalup sastoji od dvije kalupnice koje čine jednu cjelinu. Na Slici 4.5 prikazan je tok izrade kalupa u kalupnicama.

Za kalupovanje šupljeg predmeta (a) u obliku cijevi, model je podijeljen u dva dijela, donju polovinu (M1) i gornju polovinu (M2). Prvo se kalupuje donji dio kalupa (Slika 4.5 b) za čiju se izradu upotrebljava donja polovina modela (M1), koja se postavlja na očišćenu radnu ploču ili kaluparski sto. Zatim se postavi kalupnica, a model se napraši likopodijumom. Prvo se nabacuje sloj modelne mješavine i lagano nabija oko modela, a zatim nabacuje mješavina za ispunu kalupa, uz postepeno sabijanje i ispunu. Po ispunu, površinu treba poravnati i pomoću igle izbušiti otvore za ventilacione kanale. Izrađena donja polovina kalupa se okrene za 180° i priprema za izradu druge polovine, tako što se površina spolja poravna i pospe suhim kvarcnim pijeskom kako bi se kalup dao lakše rastaviti. Potom se postavlja gornja polovina modela i gornja kalupnica (slika 4.5 c) i postupak dalje teče kao kod kalupovanja prve polovine kalupa. U gornjoj polovini kalupa se zatim formira ulivak sa ulivnom čašom (Slika 4.5 c), kao i nalivci. Oni se formiraju postavljanjem odgovarajućih modela. Takođe se buše i ventilacioni kanali za odvod gasova.

Za vađenje modela skida se gornja polovina kalupa i okreće za 180° . U donjoj polovini kalupa se izrađuju i ostali dijelovi ulivnog sistema. Osjetljive ivice kalupa, naročito kada se radi o složenijim odlivcima, ojačavaju se livačkim ekserima, a ivice oko modela se nakvase vlažnom četkom. Poslije vađenja modela i popravke kalupa, vrši se ponovno njegovo postavljanje, pri čemu se postavlja i centriira jezgro.

Da se gornja polovina ne bi podigla prilikom ulivanja tečnog metala, vrši se opterećenje (otežavanje) kalupa (Slika 4.5 d).



Slika 4.5 Kalupovanje u šasijama

Mašinsko kalupovanje. Pri izradi većih serija odlivaka ručni način bi bio veoma neekonomičan, pa se u tim slučajevima primjenjuje mašinsko kalupovanje. Kod mašinskog kalupovanja operacije se izvode raznim vrstama mašina. Modeli su metalni, a kalupnice imaju odgovarajući oblik i veličinu kako bi se mogle postaviti na mašinu za kalupovanje.

Prednost ovog načina kalupovanja ogleda se u tačnosti i ujednačenosti dimenzija i kvaliteta odlivaka.

Korišćenjem mašina za kalupovanje, mehanizovane su dvije osnovne kaluparske operacije:

- sabijanje kaluparske mješavine u kalupnici i
- vađenje modela odnosno modelne ploče.

Sabijanje kaluparske mješavine vrši se na jedan od sljedećih načina:

- sa pneumatskim sabijačem,
- presovanjem,
- stresanjem (treskanjem),
- nabacivanjem pod pritiskom.

Prije livenja kalupi i jezgre se suše, čime im se povećava čvrstoća i propustljivost za gasove, te smanjuje sadržaj isparljivih sastojaka. Sušenje se vrši u posebnim sušarama koje mogu biti veoma različite u pogledu kapaciteta i načina zagrijavanja. Temperatura i vrijeme sušenja zavise od vrste kalupne mješavine, veličine kalupa i jezgre, načina izrade itd.

Jezgra sa organskim vezivom (smole, uljna veziva) suše se na temperaturama od 170 do 200 °C, kalupi za sivi liv i obojene metale (od bogatog i vrlo bogatog pijeska) na temperaturi od 250 do 350 °C, a kalupi za čelični liv (od mase i ilovače) na temperaturi od 350, pa i do 600 °C.

Dužina sušenja jezgre najčešće se određuje na osnovu zapremine jezgre i vrste vezivnog sredstva. Jezgre sa glinom se suše najduže (i do 7 sati) a sušenje velikih kalupa može da traje i do 50 sati.

Pri postavljanju kalupa i jezgri u peći za sušenje, treba voditi računa da se u istoj peći suše kalupi i jezgre sa bliskim optimalnim temperaturama sušenja, kao i sličnih dimenzija. Krupnije kalupe i jezgre treba postavljati u one dijelove peći gdje vladaju više temperature, pri čemu se mora voditi računa i o međusobnom rastojanju.

Nakon sušenja, kalupi i jezgre se premazuju odgovarajućim premazima, sklapaju i opterećuju potrebnom masom, koja je različita u zavisnosti od oblika i dimenzija odlivka, kao i vrste materijala koji se lije.

4.2.4 MEHANIZACIJA I AUTOMATIZACIJA IZRADE I TRANSPORTA KALUPA

Uvođenjem mašina u proizvodnju kalupa, počelo se sa mehanizacijom pojedinih operacija izrade kalupa. Najprije su mehanizovane one operacije koje su zahtijevale najveći napor i iziskivale najviše vremena za izvođenje, kao što su nabijanje pijeska i vađenje modela.

Uporedo sa mehanizacijom izrade kalupa u kaluparskim mašinama, vršena je i mehanizacija i automatizacija manipulisanja sa kalupima u livnici.

Mehanizacija izrade i transporta kalupa od kaluparskog pijeska ima niz prednosti, kao što su:

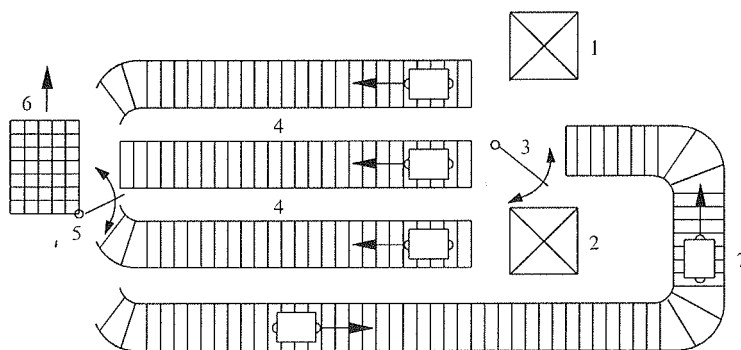
- povećanje produktivnosti i smanjenje troškova proizvodnje,
- oslobađanje radnika napornih fizičkih poslova,
- poboljšanje kvaliteta u proizvodnji itd.

U livnicama se mehanizacija i automatizacija transporta kalupa rješava u zavisnosti od veličine i raznovrsnosti proizvodnog programa livnice.

Jedan od načina mehanizacije transporta u livnici prikazan je šematski na Slici 4.6 .

Kaluparske mašine (1) i (2) poslužuju se dizalicom (3). Sklapanje kalupa, livenje i hlađenje vrši se na valjkastim transporterima (4). Istresanje kalupa se vrši na istresnoj rešetki (6) pomoću dizalice (5). Prazne kalupnice se vraćaju valjkastim transporterom (7) do mašina za kalupovanje i proces se dalje nastavlja kao na početku.

Pored mehanizacije transporta, u livnicama se vrši i mehanizacija radnih mjesta, gdje se pojedine kalupnice pune pijeskom pomoću odgovarajućih mašina, a zatim se dalje postupak obavlja na sličan način kao u prethodnom primjeru.



Slika 4.6 *Primjer mehanizacije transporta u livnici*

4.3 LIVENJE U METALNIM KALUPIMA - KOKILAMA

Livenje u metalnim kalupima ili kokilama primjenjuje se u serijskoj proizvodnji odlivaka, jer je proizvodnja metalnih kalupa dosta skupa, pa bi proizvodnja manjeg broje komada ovim postupkom bila sasvim neekonomična.

Ovim postupkom se, uglavnom liju odlivci od aluminijuma, bakra i njihovih legura, a rjeđe odlivci od sivog i čeličnog liva. Razlog je u visokoj temperaturi livenja, sivog ili čeličnog liva, koja može izazvati oštećenje samog kalupa.

Livenje u kokilama ima niz prednosti u odnosu na livenje u kalupima iz kaluparskog pijeska. Te prednosti se ogledaju u sljedećem:

- znatno je veća produktivnost livnice (nema kalupovanja),
- bolja je površina odlivka,
- smanjena je ili potpuno otpada potreba za dodatnom mehaničkom obradom,
- nije potrebna velika stručnost radnika na poslovima livenja,
- bolji su uslovi zaštite na radu u livnici i dr.

Međutim, livenje u kokilama ima i svojih nedostataka, kao što su:

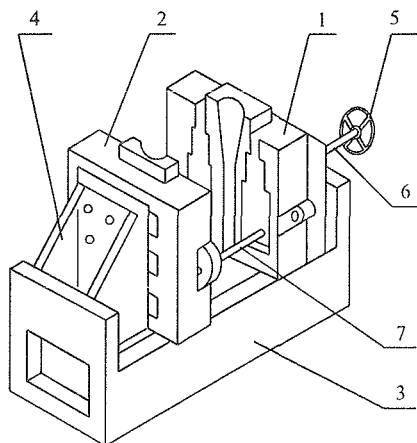
- skupa izrada kalupa,
- potrebno je iskustvo u konstruisanju kalupa (duže vrijeme za usvajanje tehnologije livenja),
- poprilično je otežano dobijanje odlivaka složenog oblika itd.

Kod ovog postupka, kokila se izrađuje iz dva ili više dijelova (što zavisi od složenosti odlivka), koji se spajaju klinovima ili na neki drugi način, ali tako da je omogućeno brzo sklapanje i rasklapanje kokile.

Na Slici 4.7 prikazan je jednostavniji oblik dvodjelnog kalupa.

Kokila se sastoji iz dva dijela, pomičnog (1) koji se kreće po vodičama postolja (3), i nepomičnog (2) koji je pričvršćen za naslon (4). Sklapanje i rasklapanje kokile vrši se ručno, okretanjem točka (5) sa vretenom (6). Pravilno centriranje kokile prilikom sklapanja omogućavaju čepovi (7).

Prilikom livenja u većim serijama, sklapanje i rasklapanje je mehanizovano i obično radi na hidrauličnom principu.



Slika 4.7 Dvodjelni metalni kalup

Prije livenja na radne površine kokile nanosi se zaštitna prevlaka, koja ima višestruku ulogu:

- poboljšava punjenje kalupa, jer rastopljeni metal znatno bolje teče po premazanoj površini,
- različitom debljinom sloja prevlake može se uticati na brzinu hlađenja odlivka, jer nanošenjem debljeg sloja prevlake usporava se hlađenje odlivka,
- prevlaka štiti kalup od nagrivanja tečnim metalom i otklanja mogućnost lijepljenja odlivka za zidove kokile i dr.

Prevlaka se nanosi na prethodno zagrijanu površinu kalupa (od 100 do 120 °C), izuzev prevlake za legure bakra.

Najčešći način nanošenja prevlake je prskanjem pomoću odgovarajućeg raspršivača sa komprimiranim vazduhom, a rjeđe četkom. Površine kalupa koje se ne dodiruju s ulivenim metalom ne premazuju se, i prilikom nanošenja prevlake zaštićuju se posebnim šablonom koji pokriva te površine.

Kod kokila napravljenih iz više dijelova veoma je bitan redoslijed rasklapanja pojedinih dijelova kokile, da ne bi došlo do oštećenja odlivka.

Kod livenja u kokilama sve operacije su, od sastavljanja pa do vađenja odlivka, uglavnom mehanizovane.

Mašine kojima se to ostvaruje su univerzalne individualne mašine, karuselne mašine, kao i konvejske automatske linije.

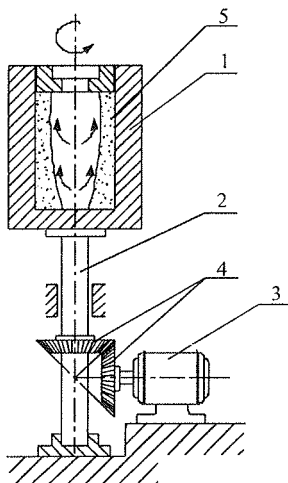
4.4 CENTRIFUGALNO LIVENJE

Princip centrifugalnog livenja sastoji se u tome da se rastopljeni metal uliva u metalni kalup, koji se brzo okreće oko svoje ose od početka livenja do skrućivanja odlivka. Uliveni metal se, pod djelovanjem centrifugalne sile koja nastaje kao posljedica obrtanja kalupa, razmješta ravnomjerno po zidovima kalupa i skrućuje se. Na ovaj način se odlivaju cijevi i razne vrste cilindričnih predmeta bez primjene jezgri.

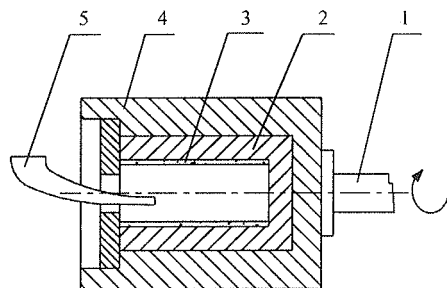
Metalni kalupi mogu biti postavljeni u vertikalnom i horizontalnom položaju, pa se i postupci livenja nazivaju centrifugalno livenje u vertikalnom, odnosno centrifugalno livenje u horizontalnom položaju.

Princip centrifugalnog livenja u vertikalnom položaju prikazan je šematski na Slici 4.8.

Metalna kokila (1) dobija pogon od elektromotora (3) preko para koničnih zupčanika (4) i osovine (2). Rastopljeni metal se uliva sa gornje strane kalupa i usljed obrtanja kalupa razmješta po zidovima kalupa, gdje se skrućuje. Međutim, debljina zidova odlivka (5) je neravnomjerna, tj. parabolično raste prema donjem dijelu kalupa. Ovaj nedostatak se umanjuje pravilnim izborom broja obrtaja kalupa, kao i livenjem odlivaka manje dužine.



Slika 4.8 Princip vertikalnog centrifugalnog livenja



Slika 4.9 Princip horizontalnog centrifugalnog livenja

Ravnomjernu debljinu zidova dobijamo centrifugalnim livenjem u horizontalnom položaju (Slika 4.9).

I u ovom slučaju kokila (2) dobija pogon od elektromotora preko osovine (1). Kokila je sa prednje strane zatvorena prstenastim poklopcem (4) kojim je ujedno ograničena dužina odlivka (3). Rastopljeni metal se uliva preko dugačkog lijevka (5).

Kokile se, za ovaj postupak, izrađuju od čelika, sivog liva, bakra, a u novije vrijeme i od grafitu. Prije ulivanja tečnog metala kokile se premazuju ili zaprašuju određenim sredstvima, kako ne bi došlo do neposrednog dodira između tečnog metala i zidova kokile. U tu svrhu se koristi ferossilicijum, grafit u prahu, bentonit i drugo.

Ovim postupkom se lije čelik, bronza, sivi liv i drugo.

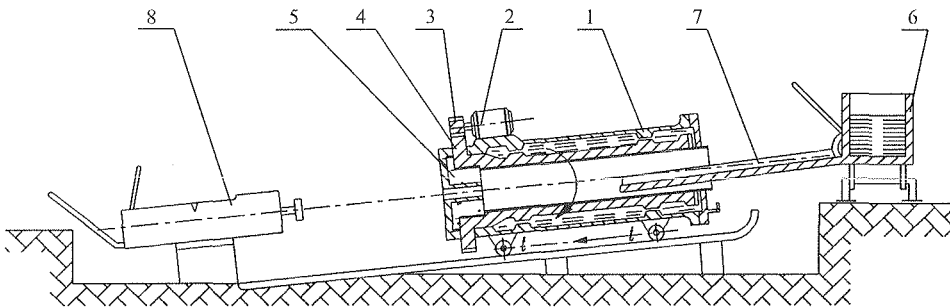
U posljednje vrijeme poseban način centrifugalnog livenja primjenjuje se za livenje predmeta sastavljenih od dva sloja različitih metala. To je najčešći slučaj kod cilindara motora koji se liju od čelika, a sa unutrašnje strane po kojoj klizi klip, se lije jedan sloj od livenog gvožđa. Ovo je čest slučaj i pri izradi kliznih ležišta.

Centrifugalno livenje sivog liva ima značajnu primjenu prilikom livenja cijevi (dužine do 6 m). Princip rada uređaja za centrifugalno livenje cijevi prikazan je šematski na Slici 4.10.

Kokila (1) dobija pogon od elektromotora (2) preko spregnutih zupčanika (3) i (4). Kokila je postavljena na točkovima (t) koji se kreću po šinama sa blagim nagibom. Prednji kraj kokile se zatvara posebnim poklopcem (5) sa jezgrom za formiranje naglavka cijevi. Ulivanje metala se vrši iz lonca (6), preko lijevka (7) tako što se kokila potpuno primakne kako bi lijevak cijelom dužinom ušao u nju. Otvaranjem ispusnog kanala na loncu, tečni metal teče niz lijevak i usljed obrtnog kretanja kokile i pravolinijskog kretanja cijelog uređaja na šinama, liv u obliku zavojnice prijanja uz zidove kokile i formira se cijev.

Kokila se hladi vodom, što ubrzava i hlađenje cijevi, a kad je formiranje cijevi završeno prednji poklopac se skida pomoću uređaja (8) i cijev vadi iz kokile.

Prozvodnja cijevi ovim postupkom je brza i ekonomična zbog hlađenja cijevi u kokili.



Slika 4.10 Centrifugalno livenje cijevi

Odlivci dobijeni ovim postupkom livenja odlikuju se homogenom strukturom i povećanom čvrstoćom. To omogućava da kod centrifugalnog livenja debljina zida cijevi bude i za 25% manja od cijevi livene u pješčanim kalupima sa jezgrom.

Pravilnim rukovanjem kokila može izdržati od 3000 do 4000 livenja, što ukazuje na veliku produktivnost i ekonomičnost ovog postupka.

Poslije livenja se vrši žarenje, čime se otklanjaju unutrašnja naprezanja u odlivku.

Danas postoje postupci izrade odlivaka (uglavnom cijevi) bez naknadnog žarenja, što je još jedna od prednosti ovog postupka.

4.5 LIVENJE POD PRITISKOM

Livenje pod pritiskom je postupak livenja odlivaka čije je livenje u običnim kokilama otežano, jer se tečni metal u dodiru sa metalnim kalupom brzo hladi gubeći svoju pokretljivost, pa loše ispunjava najdublje dijelove kalupa. Ovo je naročito karakteristično za livenje odlivaka malih dimenzija, složenog geometrijskog oblika i tankih zidova, u većim serijama.

Ovim livenjem se dobijaju veoma kvalitetni odlivci od obojenih i lakih metala, kod kojih često nije potrebna naknadna mehanička obrada.

Razlikujemo dva postupka livenja metala pod pritiskom i to:

- livenje ubrizgavanjem (livenje u tečnom stanju),
- livenje presovanjem (livenje u tjestastom stanju).

Livenje ubrizgavanjem - se sastoji u tome da se metal odnosno legura koja se lije dovede u tečno stanje, a zatim pod pritiskom ubrizgava u sklopljeni metalni kalup. Ovaj postupak livenja se naročito primjenjuje za izradu dijelova od legura obojenih metala, koje imaju nisku tačku topljenja, kao što su legure olova, kalaja, cinka, aluminijuma i magnezijuma.

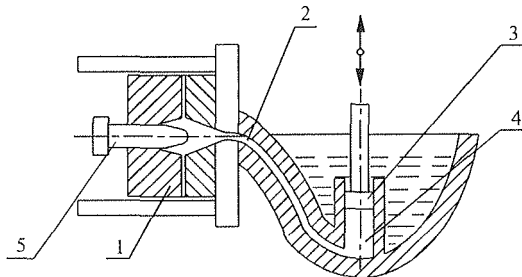
Kalupi za livenje ubrizgavanjem izrađuju se od specijalnog čelika otpornog na visoke temperature. Oni se tokom livenja hlade vodom ili uljem koje cirkuliše u specijalnim kanalima koji se nalaze u tijelu kalupa. Izrada kalupa, a i jezgri zahtijeva veliko iskustvo.

Mašine za livenje ubrizgavanjem mogu se podijeliti u dvije grupe i to:

- mašine sa klipom i
- mašine s komprimiranim vazduhom.

Princip rada mašine sa klipom prikazan je na Slici 4.11.

Prije livenje, dijelovi kalupa (1) se spoje i pomoću posebnog mehanizma, najčešće hidrauličnog, primaknu mlaznici brizgaljke (2). Podizanjem klipa (3) tečni metal iz lonca koji se grije izvana, ulazi u komoru (4). Klip se pokreće hidrauličnim putem naniže i pod pritiskom potiskuje tečni metal kroz brizgaljku u sklopljeni kalup. Kalup se rastavlja pomjeranjem svoje lijeve površine, a odlivak izbacuje izbacivačem (5).



Slika 4.11 Šema mašine za livenje sa klipom

Mašine sa komprimiranim vazduhom se, uglavnom, koriste za livenje aluminijuma i bakra, jer se oni ne mogu liti pomoću mašina sa klipom zbog visoke temperature topljenja ovih legura, pri čemu se klip i cilindar brzo habaju, a osim toga aluminijum nagriza gvozdeni klip.

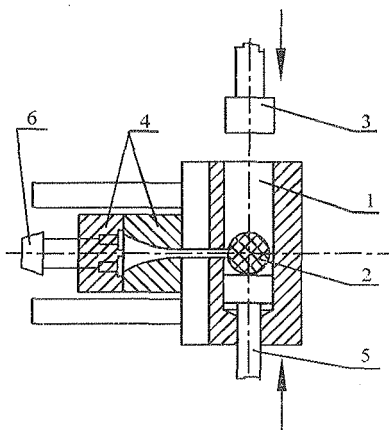
Princip rada ovih mašina identičan je kao kod mašina sa klipom, a ovdje se umjesto klipa za stvaranje pritiska tečnog metala koristi komprimirani vazduh. Problem koji se javlja kod ovih mašina je uticaj vazduha na oksidaciju metala, ali se to kod savremenih mašina rješava tako što vazduh djeluje samo na malu površinu metala koji se nalazi u posebnoj crpaljki.

Livenje presovanjem metala. Glavni dijelovi mašine za livenje ubrizgavanjem su u stalnom dodiru sa rastopljenim metalom, odnosno legurom, zbog čega su izloženi velikom habanju. Radi toga se i legure koje imaju tačku topljenja iznad 1000°C i koje zahtijevaju visoke pritiske, ne mogu liti ubrizgavanjem. Takve legure kao što su legure bakra - bronza i mesing liju se presovanjem u polutečnom stanju. Ovaj način livenja sastoji se u tome što se legura pri znatno nižoj temperaturi (oko 800 do 850°C) u zgusnutom, skoro u tjestastom stanju upresuje u kalup.

Mašine za livenje ubrizgavanjem mogu biti: mašine sa horizontalnim cilindrom i mašine sa vertikalnim cilindrom.

Na Slici 4.12 šematski je prikazana mašina sa vertikalnim cilindrom.

U čelični cilindar (1) unosi se legura (2) u tjestastom stanju i pomoću gornjeg klipa (3) pre-suje u zatvoreni kalup (4). Prije unošenja liva zatvoren je kanal koji spaja cilindar sa kokilom, podizanjem donjeg klipa (5), koji se spušta (i otvara kanal) tek kad je liv pod pritiskom. Tjestasta metalna masa popunjava šupljinu u kalupu, a nakon hlađenja kalup se rastavlja i odlivak vadi izbacivačem (6). Kod povratnog hoda gornjeg klipa, podiže se i donji klip pri čemu izbacuje višak materijala iz cilindra.



Slika 4.12 Šema mašine za livenje sa vertikalnim cilindrom

Na sličan način funkcioniše i mašina sa horizontalnim cilindrom, gdje je dovoljan samo jedan klip, i to klip za potiskivanje liva u šupljinu kalupa.

4.6 LIVENJE PRECIZNOG LIVA U KALUPIMA SA IZGUBLJENIM MODELIMA

Danas postoji više tehnoloških postupaka za izradu preciznog liva u kalupima koji se mogu jedanput upotrijebiti, a jedan od najčešće primjenjivanih je izrada kalupa pomoću izgubljenih modela. Ovim postupkom mogu se dobiti odlivci složenog oblika, sa minimalnom debljinom zidova do 0,5 mm.

Izgubljeni modeli vade se iz kalupa nakon izrade kalupa, a prije livenja, na jedan od sljedećih načina:

- topljenjem modela,
- sagorijevanjem modela,
- rastvaranjem modela i
- odmrzavanjem modela.

Široku primjenu ima postupak topljenjem modela, kao i postupak sagorijevanjem modela. Jedan od najčešćih načina, a koji se zasniva na principu topljenja i sagorijevanja modela je postupak sa voštanim modelima.

Da bi dobili voštani model, prvo se mora uraditi matični model odlivka od metala koji se da lahko oblikovati, ili od drveta. Kod metalnog matičnog odlivka dimenzije su uvećane za procenat skupljanja metala od kojeg se lije.

Matični model služi da se pomoću njega odlije matrica od gipsa, koja će poslužiti za livenje kalupa iz cinkove i bizmutove legure. Ovaj kalup služi kao matrica za izradu voštanih modela.

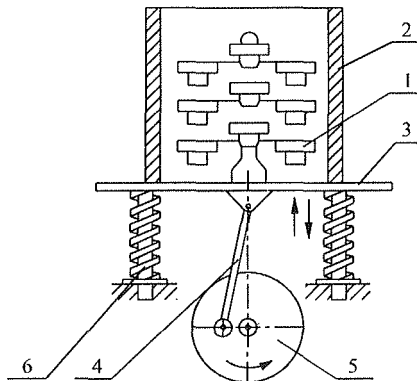
Radi povećanja produktivnosti, više modela se spaja u blok modela (grozd) sa jednim, što kraćim ulivnim sistemom. Tako formiran blok modela se dobro opere u alkoholu, suši, a zatim potapa u vatrootpornu masu. Nakon vađenja i cijeđenja po površini bloka modela ostaje glatko prilijepljen sloj vatrootporne mase debljine od 0,5 do 1,0 mm. Potapanje se može ponoviti više puta u razmacima od po dva sata, tako da se može dobiti vatrootporni sloj debljine od nekoliko milimetara. Grozdovi prekriveni vatrootpornom (keramičkom) masom se suše na temperaturi od 20 do 25 °C u vremenu od 16 do 24 sata. Suhu grozdovi se montiraju u pripremljene okvire u koje se zatim sipa mješavina pijeska i cementa uz dodatak vode, koja čini mješavinu tečnom. Okvir je postavljen na vibracioni sto koji se za vrijeme punjenja trese (gore-dolje) i tako se mješavina dobro sabija oko svakog modela u bloku.

Princip sabijanja stresanjem (Slika 4.13) funkcioniše na principu ekscentra, tako što se blok model (1) postavlja u okvir (2) koji se nalazi na stolu (3). Poluga ekscentra (4) je jednim svojim krajem vezana za sto, a drugim za ekscentar (5). Obrtno kretanje ekscentra uzrokuje vertikalno pomjeranje stola, a time i kalupa. Opruge (6) ublažuju udarce tako da dolazi do tresenja i sabijanja guste kaluparske mase oko modela, dok voda otiče preko okvira. Nakon sabijanja kalupi sa okvirima se skidaju i suše nekoliko dana na temperaturi od 20 do 25 °C, uz postepeno povećanje temperature do 45 °C.

Kalupi se zatim prenose u peći za izlivanje voska, gdje na temperaturi od 120 °C vosak ističe u pripremljene posude. Potpuno otklanjanje voska iz kalupa vrši se u drugoj peći, gdje se temperatura povećava do 500 °C, pri čemu ostaci voska izgaraju.

Nakon nekoliko sati, temperatura u peći se povećava na 900 °C i kalupi se zadržavaju na toj temperaturi oko 3 sata.

U pečene kalupe, dok su još vrući, uliva se pripremljeni tečni metal.



Slika 4.13 Sabijanje kalupne mješavine stresanjem

Upotrebu prirodnog voska, danas zamjenjuje vještački vosak sastavljen od tvrdog parafina (40 %), montan voska (30 %) i montan smole (30 %). Za velike serije se upotrebljava polistirol zbog velike lakotopljivosti.

Formiranje modela vrši se na automatima za ubrizgavanje pod određenim pritiskom i temperaturom.

4.7 NEPREKIDNO LIVENJE

Princip neprekidnog ili kontinuiranog livenja sastoji se u tome što se tečni metal ravnomjerno i neprekidno lije u metalni kalup koji se zove kristalizator, otvoren sa dvije strane. S jedne strane u kokilu - kristalizator ulazi tečni metal, a sa druge strane izlazi odlivak s već očvrslim zidovima, ali još tečnom sredinom. Potpuno očvršćavanje odlivka se vrši u uređaju za hlađenje.

Ovim postupkom se, uglavnom liju obojeni metali kao što su olovo, cink, bakar, aluminijum i njihove legure a u posljednje vrijeme sve se više koristi za livenje gvožđa i čelika.

Čelik se danas lije ovim postupkom u polufabrikate kvadratnog presjeka sa stranicom od 75 do 300 mm, okruglog presjeka prečnika od 100 do 250 mm, pravougaonog presjeka sa odnosom stranica od 1:3 do 1:8, kao i pretprofila INP i UNP nosača.

Do sada su se razvila tri tipa uređaja za kontinuirano livenje čelika i šematski su prikazani na slici 4.14.

Na Slici 4.14a prikazan je vertikalni tip uređaja za livenje čelika, kod koga su sastavni dijelovi postavljeni jedan ispod drugog.

U kazan (1) se doprema tečni čelik iz čeličane, iz njega se uliva u međukazan (2), a zatim ističe u kokilu-kristalizator (3). Kokila je izrađena iz bakra ili legura bakra i hladi se vodom. Uređaj za hlađenje (4) nalazi se ispod kristalizatora i podijeljen je u više zona. U svaku zonu dolazi poseban dovod vode pa je moguća regulacija brzine hlađenja po zonama. Potporna kotrljača (5) podupire odlivak - žilu, budući da još nije očvrsla i sprječava njenu deformaciju. Već očvrsla žila nailazi na pogonsku kotrljaču (6) koja je ravna i vodi do uređaja za gasno rezanje plamenom (7). Komadi odrezani na određenu dužinu posebnim uređajem (8) se dovode u horizontalni položaj i kotrljačom (9) odvođe na skladište polufabrikata.

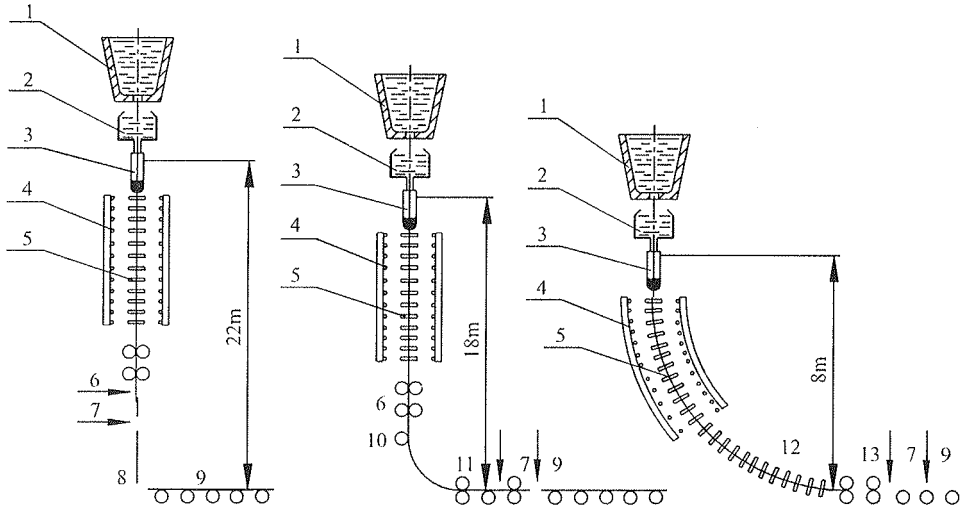
Nedostatak ovog načina livenja je velika visina uređaja, što zahtijeva i veliku visinu pogona livnice.

Nešto povoljnija izvedba je uređaj sa savijenom žilom prikazan na Slici 4.14b.

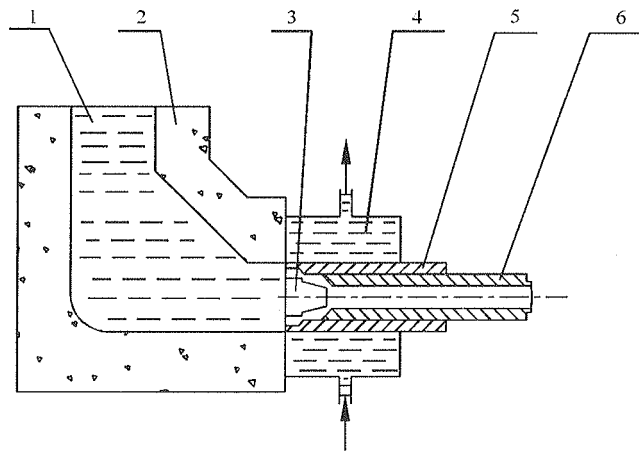
Odlivak - žila se savija odmah nakon očvršćavanja kotrljačom (10), a zatim ravna u horizontalnom položaju ravnalicom (11). Rezanje žile na određenu dužinu vrši se makazama (7), a zatim otprema kotrljačom (9) do skladišta polufabrikata.

Danas se najviše upotrebljava uređaj prikazan na Slici 4.14c, kod koga savijanje žile počinje još u zoni očvršćavanja, i uređajem za savijanje (12) se vodi do ravnalice (13). Odrezani komadi određene dužine se, kao i u prethodnim slučajevima, odvođe do skladišta kotrljačom (9).

Iz navedenog se može zaključiti da je postupak neprekidnog livenja sličan klasičnom postupku valjanja čeličnih polufabrikata (kontinuitet rada). Međutim, neprekidno livenje polufabrikata u odnosu na klasično valjanje ima niz prednosti između kojih su: manji broj radnih operacija, veća produktivnost rada, manji troškovi zamjene postrojenja za livenje u odnosu na skupa i teška valjaonička postrojenja i drugo.



Slika 4.14 Šema uređaja za kontinuirano livenje



Slika 4.15 Kontinuirano livenje obojenih metala i legura

Pored prednosti u ekonomičnosti izrade, kontinuirano liveni blumovi i slabovi imaju i kvalitet nešto bolji u odnosu na valjane ingote.

Obojeni metali i njihove legure liju se tehnologijom horizontalnog kontinuiranog livenja, a proizvodi dobijeni na ovaj način su šipkasti profili i cijevi različitog poprečnog presjeka.

Uređaj za horizontalno kontinuirano livenje obojenih metala i legura šematski je prikazan na Slici 4.15.

Topljenje metala (1) vrši se u elektroindukcionoj peći (2) za koju je neposredno učvršćena kokila (3) koja se hladi vodom (4). Ukoliko se liju šuplji profili, u kokilu se postavlja i centrirani trn (5) koji formira šupljinu u odlivku (6). Oblik i dimenzije šupljine u odlivku određeni su oblikom i dimenzijama poprečnog presjeka trna.

Dužina odlivka se određuje prema standardu za određenu vrstu odlivaka.

Topljenje i održavanje odgovarajuće temperature reguliše se automatski (autoregulacijom), a tehnološki proces se odvija putem specijalnog sistema sa elektronskom regulacijom.

Kontinuiranim livenjem obojenih metala i njihovih legura postiže se visok stepen kvaliteta površine, homogena struktura odlivka, dobre mehaničke osobine, kao i dobra obradivost.

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Šta je livenje?
2. Navesti podjele (vrste) livenja.
3. Navesti i objasniti osnovne pojmove u vezi sa procesom livenja.
4. Navesti faze izrade gotovog odlivka.
5. Koji se materijali koriste za izradu kalupa i jezgri kod livenja u pješčanim kalupima?
6. Navesti vrste pijeska koje se koriste za izradu kalupa.
7. Kakve osobine moraju imati jezgre?
8. Kakav je zadatak i vrste veziva koja se koriste kod izrade jezgri?
9. Navesti ostale materijale koji se koriste za izradu kalupa i jezgri.
10. Objasniti tok izrade kalupa u kalupnicama.
11. Zbog čega se uvodi mehanizacija i automatizacija u livnicama?
12. Koje su prednosti, a koji nedostaci metalnog nad kalupom od kaluparskog pijeska?
13. Objasniti princip vertikalnog i horizontalnog postupka centrifugalnog livenja.
14. Navesti vrste postupaka livenja pod pritiskom.
15. Kakve mogu biti mašine za livenje presovanjem?
16. Zbog čega i na koji način se vade izgubljeni modeli iz kalupa?
17. Objasniti postupke livenja metala neprekidnim livenjem.

5. OBRADA METALA PLASTIČNOM DEFORMACIJOM

Obrada metala deformacijom, ili obrada bez skidanja strugotine, podrazumijeva one metode pri kojima se metalu daje željeni oblik plastičnom deformacijom i odvajanjem.

Sam postupak obrade plastičnom deformacijom se sastoji u većem ili manjem relativnom pomjeranju pojedinih djelića materijala pod djelovanjem vanjskih sila, a da pri tome ne dođe do pojave loma i pukotina u materijalu.

Dok obrada metala skidanjem strugotine nalazi svoju primjenu i u pojedinačnoj proizvodnji, za obradu metala deformacijom može se reći da je isključivo vezana za serijski tip proizvodnje. Da bi se materijal mogao prerađivati, potrebno ga je dovesti u stanje plastičnog tečenja, što znači da ga treba opteretiti iznad granice elastičnosti.

Plastičnost materijala zavisi od više faktora, od kojih su najznačajniji:

- hemijski sastav materijala,
- temperatura na kojoj se vrši obrada materijala,
- oblik i dimenzije početnog materijala,
- način obrade,
- pravilan izbor i izvođenje postupka obrade.

Uslovi obrade se poboljšavaju zagrijavanjem materijala na određenu temperaturu, jer se u tom slučaju smanjuje otpor materijala prema deformaciji.

Obradom plastičnom deformacijom najčešće se obrađuju čelici, mada se mogu obrađivati i legure bakra i aluminijuma pojedinim vrstama plastične obrade, što zavisi od hemijskog sastava legura. Sposobnost čelika za obradu plastičnom deformacijom opada sa povećanjem sadržaja ugljenika.

Mesing (legura bakra i cinka) sa manjim sadržajem cinka može se prerađivati u hladnom i toplom stanju, dok sa povećanim sadržajem cinka iznad određene granice postoji mogućnost prerade samo u vrućem stanju. Slično je i kod bronzne čija sposobnost za plastičnu obradu opada sa povećanjem sadržaja kalaja.

Od vrlo velikog značaja je zagrijavanje materijala pri ovoj obradi. Materijal mora biti zagrijan na odgovarajuću temperaturu da ne bi došlo do neželjenih efekata pri obradi.

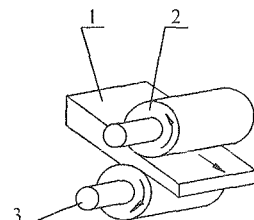
Obrada materijala na nižim temperaturama iziskuje povećanu silu obrade, a samim tim povećava se mogućnost pojave pukotina u materijalu. Zagrijavanjem na većim temperaturama može doći do slabljenja mehaničkih osobina materijala. Prema tome, materijal koji se plastično obrađuje potrebno je zagrijati do optimalne temperature, koja zavisi od vrste materijala i načina obrade.

U obradu materijala plastičnom deformacijom ubrajamo više postupaka, a najširu primjenu imaju sljedeći postupci: **kovanje**, **presovanje**, **valjanje** i **izvlačenje**.

5.1. OBRADA VALJANJEM

5.1.1. OSNOVNI POJMOVI O PROCESU OBRADE VALJANJEM

Valjanje je postupak plastične prerade materijala pri kojoj se oblikovanje materijala ostvaruje prolaskom između dva ili više valjaka, koji se obrću u suprotnim smjerovima oko svojih osa.



Slika 5.1 Princip valjanja

Materijal koji se valja (1) zahvataju valjci (2) i (3) pri čemu mu smanjuju površinu poprečnog presjeka, a povećavaju dužinu i daju željeni oblik (Slika 5.1.).

Djejestvo valjaka je najveće na površini materijala, zbog čega se i čestice materijala brže kreću na spoljašnjim nego na unutrašnjim slojevima materijala.

Povećanje plastičnosti materijala postiže se zagrijavanjem u odgovarajućim pećima prije valjanja. Temperatura zagrijavanja zavisi od vrste materijala i za valjanje čelika se kreće od 1050° do 1300° C, što zavisi od hemijskog sastava čelika.

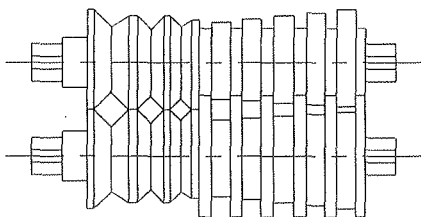
Smanjenje poprečnog presjeka materijala vrši se postepeno, jer bi u slučaju njegovog naglog smanjenja došlo do pojave pukotina, pa čak i do kidanja materijala.

Postepeno smanjenje presjeka valjanog materijala se reguliše u zavisnosti od vrste materijala, temperature zagrijavanja, oblika i veličine presjeka i dr. Materijal se, naime, postepeno propušta između valjaka sa postepenim smanjenjem otvora kalibra. To traje sve dok se ne dobije željeni oblik i dimenzije presjeka valjanog poluproizvoda ili proizvoda valjaonice. Nakon završenog valjanja komadi idu u tzv. odjeljenje adustaze, gdje se vrši konačna dorada za isporuku. Dorada uglavnom obuhvata ravnanje, rezanje na određenu dužinu, kontrolu itd. Poslije toga se vrši isporuka kupcu ili pogonima željezare na dalju upotrebu.

5.1.2. VALJAONIČKA POSTROJENJA

Za dobijanje proizvoda u valjaonicama koriste se valjaonička postrojenja. Osnovni dio (alat) valjaoničkog postrojenja su valjci za valjanje. Valjci za valjanje mogu biti različiti po obliku i dimenzijama, što zavisi od poluproizvoda i proizvoda koje treba dobiti valjanjem.

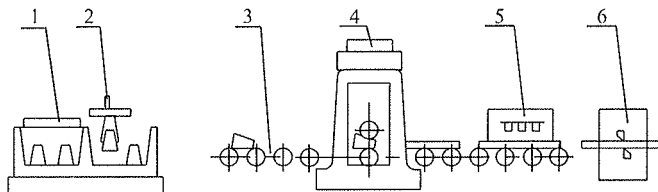
Prema obliku radne površine razlikujemo valjke sa glatkom radnom površinom i valjke sa kalibriranim radnom površinom. Valjci sa glatkom radnom površinom upotrebljavaju se za valjanje limova, traka i pljosnatih profila veće širine, dok kalibrirani valjci (Slika 5.2.) služe za valjanje određenih profila (okruglih, kvadratnih, ugaonih, šina i slično). Ovi valjci po svom obimu imaju odgovarajuće žljebove, koje nazivamo kalibrima, a oni mogu biti otvoreni i zatvoreni. Otvoreni kalibri



Slika 5.2 Kalibrisani valjci

služe za prethodno a zatvoreni kalibri za završno valjanje. Materijal za izradu valjaka bira se prema namjeni valjaka a najčešće su to: čelik, tvrdi liv (liven u kokilama) i liveno gvožđe.

Zavisno od poluproizvoda odnosno proizvoda koji se žele dobiti valjanjem, u valjaonici se primjenjuje više vrsta valjaoničkih postrojenja. Za prvu operaciju valjanja - valjanje ingota (trupac čelika ili odljevak u kokilama) šematski je prikazano jedno takvo postrojenje (Slika 5.3).



Slika 5.3 Šematski prikaz postrojenja za valjanje ingota

Ingoti se (Slika 5.3.) zagrijavaju u dubinskoj peći (1) do temperature valjanja (oko 1250°C), odakle se dizalicom sa specijalnim kliještima (2) za hvatanje prenose na valjčasti transporter (3). Transporter uvodi materijal između valjaka valjaoničkog stana (4), valjci ga zahvataju i vrše valjanje. Valjčasti transporter smješten sa druge strane valjaoničkog stana prihvata ingot, mijenja mu smjer kretanja i ponovo ga vraća između valjaka kojima je u međuvremenu promijenjen smjer obrtanja. Ova se operacija ponavlja više puta, a nakon svakog propuštanja spušta se gornji valjak, dok se ne dobije odgovarajući poprečni presjek poluproizvoda.

Po završenom ciklusu valjanja površinski defekti valjanja se uklanjaju odgovarajućim mašinama (5), a zatim se makazama (6) vrši odsijecanje polufabrikata na određenu dužinu. Ovako dobijeni valjaonički poluproizvodi ulazu se u peći za zagrijavanje da bi se pripremili za dalju preradu.

Glavni uređaji u valjaonicama su valjaonički stanovi. Njihov oblik i konstrukcija prilagođeni su proizvodima koji se na njima oblikuju.

Najvažniji dio valjaoničkog stana jesu valjci. Valjci u valjaoničkom stanu najčešće su postavljeni u horizontalni položaj, mada mogu biti postavljeni i u vertikalni ili pod nekim uglom (tzv. kosi položaj).

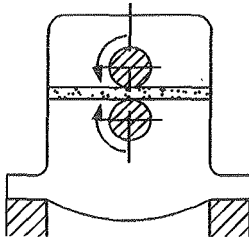
Prema broju valjaka, valjaoničke stanove možemo podijeliti u više grupa:

a/ Valjaonički stanovi sa dva valjka, duo-valjaonički stanovi.

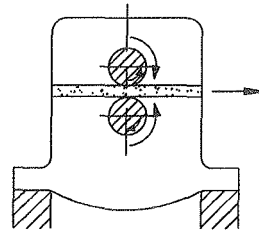
Ovdje ubrajamo sljedeće (duo) stanove:

- jednosmjerni duo-valjaonički stan,
- reverzibilni duo-valjaonički stan,
- univerzalni duo-valjaonički stan i
- dupli duo-valjaonički stan.

Jednosmjerni duo-valjaonički stan ima dva horizontalno postavljena valjka. Valjci su postavljeni jedan iznad drugog i okreću se u međusobno suprotnim smjerovima (Slika 5.4). U toku rada valjci ne mijenjaju smjer obrtanja. Ako se želi ostvariti više prolaza na ovom valjaoničkom stanu, potrebno je nakon svakog prolaza smanjiti rastojanje između valjaka, a materijal vraćati nakon svakog prolaza, čime se gubi na vremenu i materijal se pri tome hladi. Zbog svega ovoga, ovi valjaonički stanovi se upotrebljavaju u valjaonicama sa kontinuiranim rasporedom valjaka i u valjaonicama za valjanje tankih limova.



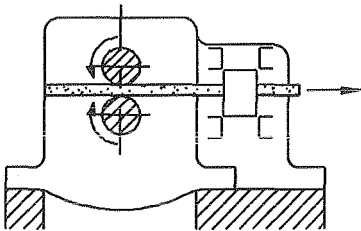
Slika 5.4. Šema jednosmjernog duo-valjaoničkog stana



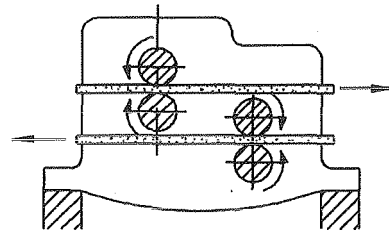
Slika 5.5 Šema reverzibilnog duo-valjaoničkog stana

Reverzibilni duo-valjaonički stan ima dva horizontalno postavljena valjka koji se obrću naizmjenično u jednom i drugom smjeru (Slika 5.5). Smjer obrtanja valjaka mijenja se nakon svakog prolaza komada. Ovakvi valjaonički stanovi upotrebljavaju se u valjaonicama za valjanje teških poluproizvoda i valjanje debelih limova.

Univerzalni duo-valjaonički stan ima jedan par horizontalno postavljenih valjaka i jedan par vertikalno postavljenih valjaka (Slika 5.6). Ovi valjaonički stanovi upotrebljavaju se za valjanje teških pljosnatih polufabrikata i širokopojsnih profila.



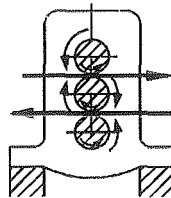
Slika 5.6 Šema univerzalnog duo-valjaoničkog stana



Slika 5.7 Šema duplog duo-valjaoničkog stana

Dupli duo-valjaonički stanovi imaju dva para horizontalno postavljenih valjaka, ali ne u istoj ravni (Slika 5.7). Komad prilikom valjanja najprije prolazi kroz jedan par valjaka, a zatim se vraća kroz drugi par valjaka. Na ovom uređaju valjaju se sitni profili iz kvalitetnijih čelika.

b/ Valjaonički stanovi sa tri valjka, trio-valjaonički stanovi

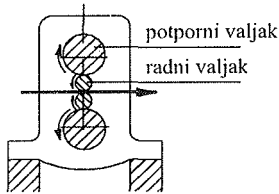


Slika 5.8 Šema trio-valjaoničkog stana

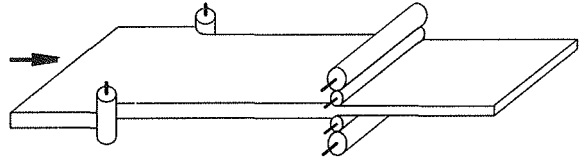
Ovi stanovi imaju tri valjka, koji su postavljene horizontalno jedan iznad drugog (Slika 5.8). Prilikom valjanja na ovakvim stanovima komad koji se valja prolazi jedanput između donjeg i srednjeg valjka, a zatim između gornjeg i srednjeg valjka krećući se u suprotnom smjeru. Na ovim valjaoničkim stanovima vrši se valjanje poluproizvoda iz manjih blokova, valjanje sitnih i teških komada.

c/ Valjaonički stanovi sa više od tri valjka

U ovu grupu valjaoničkih stanova ubrajamo valjaoničke stanove sa 4 valjka, kvatro-valjaoničke stanove, univerzalne kvatro-valjaoničke stanove i valjaoničke stanove sa više od 4 valjka - mnogovaljaoničke stanove.



Slika 5.9 Šema kvatro-valjaoničkog stana



Slika 5.10 Šema univerzalnog kvatro-valjaoničkog stana

Kvatro-valjaonički stanovi imaju 4 valjka postavljena jedan iznad drugog (Slika 5.9). Valjanje se vrši između dva srednja valjka manjeg prečnika, dok donji i gornji valjak imaju veći prečnik i služe kao otporni valjci. Kod kvatro-stanovi samo su radni stanovi vezani za pogon valjaonice. Kvatro-stanovi se upotrebljavaju za valjanje limova i širokih traka kao i pljosnatih profila.

Univerzalni kvatro-stanovi imaju pored kvatro-valjaoničkog stana i jedan ili dva duo-valjaonička stana (Slika 5.10.). Na univerzalnim kvatro-stanovima postiže se bolja obrada bočnih profila. Mogu biti jednosmjerni, ako su ugrađeni u kontinuirane valjaonice, ili reverzibilni, ako su postavljeni pojedinačno i namijenjeni su za valjanje debelih limova i za predvaljanje traka.

Valjaonički stanovi mogu imati 6, 12, 20 ili više valjaka. Ovi stanovi imaju po dva radna valjka dok svi ostali valjci služe kao potporni. Namijenjeni su uglavnom za hladno valjanje vrlo tankih limova i traka. Pored navedenih vrsta valjaoničkih stanova postoji znatan broj valjaonica sa stanovima građenim u specijalne svrhe. U grupu takvih stanova spadaju valjaonički stanovi za valjanje bešavnih cijevi, valjaonički stanovi za bandaže i šinske točkove i slično. Skup valjaoničkih stanova i pomoćnih uređaja koji rade u jednoj proizvodnoj jedinici nazivamo valjaoničkom prugom. Valjaonička pruga može imati jedan ili više valjaoničkih stanova.

Prema razmještanju valjaoničkih stanova razlikujemo:

- linijske ili otvorene pruge, pruge sačinjene od više valjaoničkih stanova poredanih u jednu liniju sa zajedničkom pogonskom osovinom,
- stepenaste otvorene pruge, sastavljene iz dvije ili tri otvorene pruge tako da svaka pruga ima svoju pogonsku osovinu,
- kontinuirane valjaoničke pruge, imaju više stanova (do 25) koji su poredani jedan za drugim i
- polukontinuirane valjaoničke pruge, nastale kombinacijom otvorene ili stepenasto otvorene i kontinuirane pruge.

5.1.3 POLUPROIZVODI I PROIZVODI VALJAONICA

Poluproizvodi ili polufabrikati valjaonica se dobijaju valjanjem velikih čeličnih blokova-ingota, a namijenjeni su za dalju preradu u vrućem stanju kovanjem, valjanjem, presovanjem i slično.

Valjani polufabrikati od ugljeničnog i legiranog čelika imaju zaobljene ivice i mogu biti kvadratnog i pravougaonog presjeka, te prema obliku i veličini poprečnog presjeka postoje: blumovi, slabovi, platine, kvadratne i pljosnate gredice.

Blum ima kvadratni ili pravougaoni presjek sa stranicama najmanje dužine 125 mm i odnosom debljine i širine 1:1 do 1:2.

Slab je pravougaonog presjeka i minimalne debljine od 40 mm, dok mu je širina najmanje dva puta veća od debljine.

Platina ima pravougaoni presjek najveće debljine 40 mm i najmanje širine 150 mm, ali je širina najmanje četiri puta veća od debljine.

Kvadratna gredica ima debljinu presjeka od 50 do 125 mm.

Pljosnata gredica je pravougaonog presjeka debljine 30 do 40 mm i širine od 50 do 100 mm.

Dužine poluproizvoda se isporučuju prema dogovoru između proizvođača i poručioaca.

Rezanje poluproizvoda na odgovarajuće dužine može se vršiti u hladnom (makazama ili testerama) i vrućem stanju (testerom ili plamenikom).

Pored nabrojanih polufabrikata valjaonice proizvode i niz proizvoda kao što su:

- šipkasti čelik sa presjekom raznih oblika i dimenzija,
- fazonski čelik raznih dimenzija,
- nosači raznih profila i dimenzija,
- betonski čelik,
- valjana žica,
- valjani limovi raznih dimenzija,
- željezničke šine sa priborom,
- šavne i bešavne cijevi,
- valjani obručevi (bandaže),
- valjani prstenovi itd.

Hlađenje proizvoda nakon valjanja je od velikog značaja, naročito kad je riječ o kvalitetnim čelicima. Hlađenje se vrši u posebnim hladnjacima pod odgovarajućim režimom.

5.1.4 POSEBNI POSTUPCI VALJANJA (VALJANJE NAVOJA I OZUBLJENJA)

Postupak hladnog valjanja navoja i ozubljenja sastoji se u utiskivanju odgovarajućeg kalibrisanog alata u materijal odgovarajućih dimenzija, a koji posjeduje odgovarajuću plastičnost.

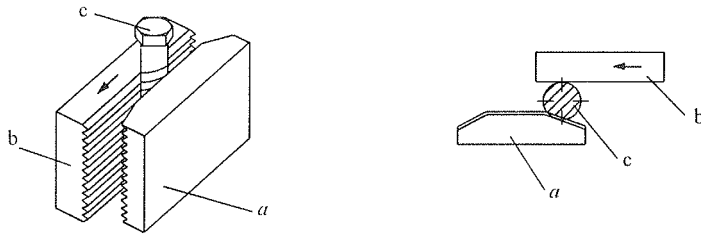
U odnosu na postupke izrade navoja rezanjem, postupci valjanja navoja imaju određene prednosti kao što su: veća proizvodnost izrade, bolje mehaničke karakteristike izratka, bolji kvalitet obrađene površine, ušteda u materijalu, veća postojanost alata itd.



Slika 5.11 Tok vlakana kod rezanog i valjanog navoja

Ako poredimo navoje koji su dobijeni rezanjem (slika 5.11a) i valjanjem (slika 5.11b), vidljivo je da se vlakna kod obrade rezanjem presijecaju i samim tim navoj je oslabljen, a pri valjanju navojna vlakna su kontinualna i sabijena. U zavisnosti od oblika alata razlikuju se dva osnovna postupka izrade navoja valjanjem i to:

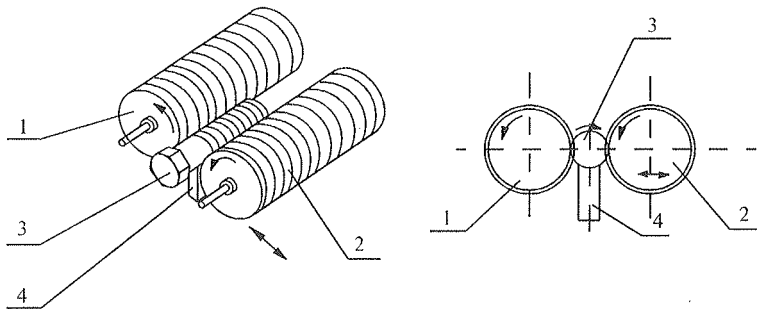
- postupak izrade navoja valjanjem pomoću pločastih alata,
- postupak izrade navoja valjanjem pomoću valjaka za valjanje.



Slika 5.12 Valjanje navoja između dvije ploče

Na Slici 5.12. šematski je prikazan postupak izrade navoja valjanjem između ravnih ploča. Između nepokretne ploče (a) i pokretne (b) valja se stablo vijka (c). Na površinama obje ploče urezani su pravolinijski žljebovi, sa profilom i nagibom (u odnosu na pravac kretanja) navoja koji se izrađuje valjanjem. Pri tome se obradak obrće i u njegovo stablo se utiskuje profil navoja.

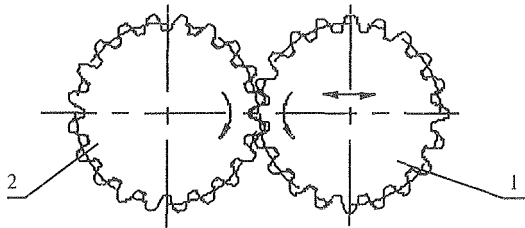
Nepomična ploča na ulaznom dijelu ima nagib radi olakšavanja početka utiskivanja navoja, u sredini je ravna a na kraju opet ima nagib radi izlaska obradka iz zahvata sa alatima. Utiskivanje navoja se izvrši u toku jednog hoda pokretnog alata, tako što se u toku druge polovine hoda vrši završno valjanje navoja na konačnu mjeru.



Slika 5.13 Šema izrade navoja profilisanim valjcima

Za izradu navoja valjanjem između dva valjka, potrebna su dva kalibrirana valjka (1) i (2) (Slika 5.13.) koji se obrću u istom smjeru. Između valjaka se nalazi obradak (3) oslonjen na oslonac (4). Valjci se neprekidno obrću a jedan od njih se primiče obratku (bočno se pomjera), do dostizanja pune dubine profila navoja. Zatim se vrši kalibriranje a onda se jedan valjak odmiče. Obradak se takođe obrće ali u suprotnom smjeru od obrtanja valjaka. Valjci imaju na obimu navoj istog profila i koraka kao navoj koji se izrađuje i usmjeren je suprotno navoju na obratku (na valjcima lijevi navoj, na obratcima desni i obratno). Dužina navoja je jednaka dužini kalibriranih valjaka. Prečnik valjaka se kreće od 100 do 140 mm i ukoliko je veći od prečnika predmeta njihov odnos je cijeli broj.

Izrada ozubljenja valjanjem se vrši u toplom i hladnom stanju. Hladnim valjanjem se izrađuju uglavnom zupčanici manjeg modula a u toplom većeg. Takođe, se hladnim valjanjem izvodi završna obrada valjanjem.



Slika 5.14 Šema postupka valjanja zupčanika sa jednim alatom

Postupak izrade se sastoji u utiskivanju profila alata u materijal obratka pri obrtanju alata i obratka. Na Slici 5.14 je prikazan šematski postupak izrade zupčanika sa jednim alatom. Pri tom postupku alat (1) i obradak (2) se obrću u suprotnim smjerovima, a alat se i radijalno pomjera do dostizanja pune dubine zuba.

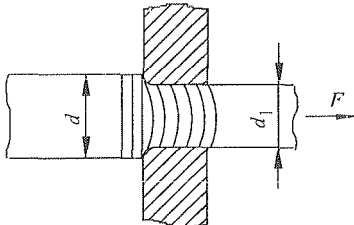
Takođe postoje mašine za izradu zupčanika valjanjem sa dva ili sa tri alata, pri čemu u nekim slučajevima postoji mogućnost i aksijalnog (uzdužnog) pomjeranja obratka.

5.2. IZVLAČENJE ŽICE

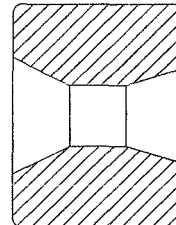
Za proizvodnju žice kao ulazni materijal koristi se toplo-valjani polufabrikati, kružnog presjeka prečnika 6-9 mm. Dalja prerada, tj. izvlačenje žice na manje prečnike vrši se u hladnom stanju. Prije izvlačenja, žica se mora očistiti od oksidnog sloja i drugih nečistoća.

Priprema za izvlačenje se sastoji iz više faza pa zahtijeva posebnu opremu i prostor pogona.

Postupak izvlačenja žice sastoji se u tome da se, pomoću bubnja za namotavanje, žica provlači kroz određeni broj vučnih prstenova sa sve manjim otvorom, pri čemu se povećava dužina žice, a smanjuje poprečni presjek (Slika 5.15.).



Slika 5.15 Smanjenje prečnika žice pri izvlačenju



Slika 5.16 Kalibrirano jezgro

U toku procesa izvlačenja dolazi do trenja površina između žice i kalibra (matrice) za izvlačenje. Zbog toga se površinski slojevi (čestice) materijala sporije kreću kod unutrašnjih slojeva. Da ne bi došlo do kidanja žice pri izvlačenju veoma je bitan oblik kalibriranog jezgra za izvlačenje.

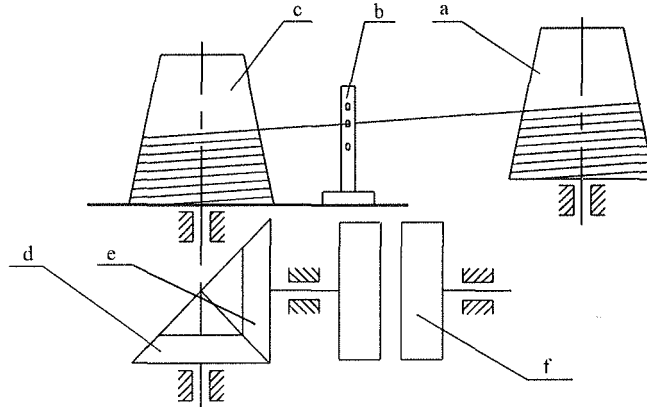
Na Slici 5.16 prikazan je izgled jezgra odakle se vidi da se ono sastoji iz više zona, a osnovne su ulazna, radna i izlazna zona. Takođe je bitno i podmazivanje pri izvlačenju.

Kalibrirana jezgra se izrađuju od alatnih čelika, tvrdog metala i dijamanta.

Jezgra od alatnih čelika se danas rijetko koriste - uglavnom pri vučenju većih prečnika žice. Jezgra od tvrdog metala imaju veću postojanost od prethodnih, a takođe je i kvalitet vučene žice bolji.

Za sasvim male prečnike žice koriste se jezgra od dijamanta (vještačkog).

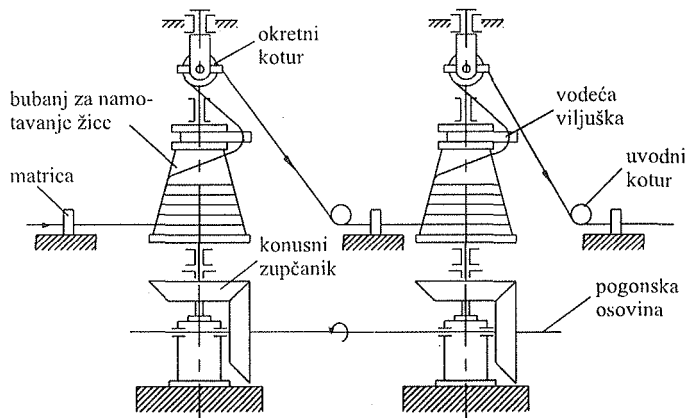
Za izvlačenje se koriste mašine jednostrukog ili jednopozicionog tipa i višestrukog ili višepozicionog tipa.



Slika 5.17 Mašina za jednostruko izvlačenje žice

Sa Slike 5.17. vidljivo je da je na bubanj (a) postavljen kotur žice, čiji se jedan kraj odmotava, provlači kroz kalibrirano jezgro postavljeno na ploči (b) i prihvaća specijalnim kliještima na bubnju (c). Bubanj (c) dobija pogon preko remenice (f) i para koničnih zupčanika (d) i (e). Tako se žica postepeno izvlači pri čemu dolazi do povećanja dužine i smanjenja poprečnog presjeka.

Ako je potrebno dobiti vrlo tanku žicu, potrebno ju je provući više puta kroz kalibre sa sve manjim otvorom. Tada žica postaje tvrda i krhka pa postoji opasnost od njenog kidanja. Zbog toga se žica međuoperacijski zagrijava na oko 700°C i lagano hladi u peći. Zagrijavanje se vrši u posebnim loncima kako ne bi došlo do stvaranja oksida koje bi morali odstranjivati prije sljedeće faze izvlačenja. Za izvlačenje tanjih žica upotrebljavaju se mašine za višestruko izvlačenje (Slika 5.18.).



Slika 5.18 Šema mašine za višestruko izvlačenje tanjih žica

Žica se preko uvodnog kotura provlači kroz prvu matricu mašine, namotava oko zateznog bubnja, a zatim preko vodeće viljuške i okretnog kotura uvodi u matricu naredne mašine za

izvlačenje i taj proces se dalje nastavlja. Ovaj postupak je brži a samim tim i ekonomičniji od prethodnog. Broj matrica za izvlačenje vrlo tanke žice se kreće i do 30 . Zbog toga se ovim postupkom hladnog izvlačenja može dobiti žica debljine od 0,03 mm.

Da bi dobili visokootpornu čeličnu žicu potrebno je izvršiti poseban postupak termičke obrade koji se naziva patentiranje. Zbog tog postupka žica koja se dobija se naziva patentirana žica (žica za opruge i čeličnu užad).

Primjena žice je višestruka, a od nje se izrađuju : ekseri, vijci, navrtke, zakovice, rascjepke itd. Žica od obojenih metala se koristi za električne provodnike i namotaje u elektrouređajima.

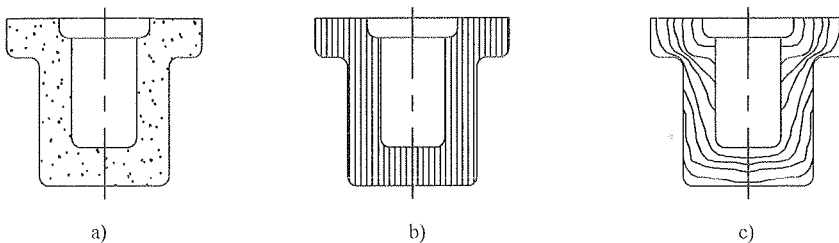
Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Šta podrazumijevamo pod obradom plastičnom deformacijom?
2. Navesti neke od postupaka materijala plastičnom deformacijom.
3. Objasniti princip valjanja.
4. Navesti i objasniti vrste valjaka.
5. Navesti vrste valjaoničkih stanova.
6. Objasniti poluproizvode valjaonica.
7. Koje su prednosti izrade navoja valjanjem u odnosu na navoje dobijene rezanjem?
8. Objasniti postupak izrade navoja profilisanim valjcima.
9. Objasniti postupak izvlačenja žice.
10. Objasniti mašine za izvlačenje žice jednopozicionog tipa.

5.3. KOVANJE I PRESOVANJE

5.3.1. OSNOVNI POJMOVI O KOVANJU I PRESOVANJU

Kovanje je veoma stara metoda prerade metala, koja zajedno sa presovanjem zauzima vrlo značajno mjesto u preradi metala. Ovim postupkom se izrađuju veoma složeni dijelovi od kojih se zahtijevaju veoma dobre mehaničke osobine. Ti zahtjevi ovim postupkom su ispunjeni, što se može vidjeti iz slijedećeg primjera.



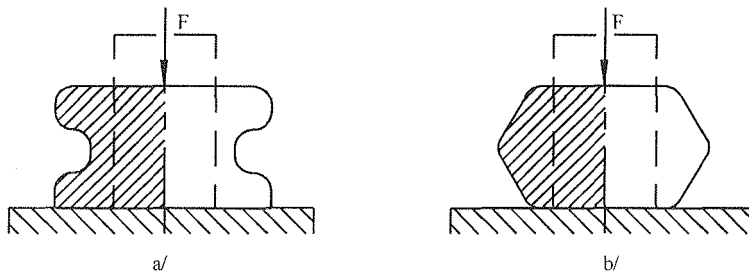
Slika 5.19. Struktura dijelova kod različitih postupaka obrade

Na poboljšanje mehaničkih osobina pri ovom procesu, promjena strukture pri obradi je glavni faktor:

Sa Slike 5.19 je vidljivo da kod livenja (a) dijelovi imaju zrnastu strukturu, dok komadi izrađeni rezanjem (b) imaju vlaknastu strukturu (zaostalu od plastične obrade pripremljka), ali su vlakna isprckidana u pojedinim presjecima, što izaziva slabljenje dijela.

Dijelovi dobijeni kovanjem i presovanjem (otkivci i otpresci) imaju vlaknastu strukturu (Slika 5.19 c) i ne samo da im vlakna nisu ispresijecana, nego su najsabijenija upravo na onim mjestima ili prelazima za koje se smatra da su izloženi najvećim naprezanjima. Dakle, otkivci i otpresci imaju homogeniju strukturu, veću čvrstoću i otpornost prema koroziji u odnosu na komade dobijene livenjem i obradom rezanjem istog oblika i hemijskog sastava.

Obrada kovanjem vrši se udarcima čekića ili bata, dok se kod obrade presovanjem vrši pritisak na komad odgovarajućim alatom. To je ujedno i glavna razlika između kovanja i presovanja.



Slika 5.20 Deformisanje metala udarcem i pritiskom

Sa Slike 5.20 uočava se različito ponašanje obratka procesom obrade kovanjem (a) i presovanjem (b). Kod kovanja nagli i kratki udarac izaziva deformaciju na gornjem i donjem površinskom dijelu komada, dok kod presovanja, zbog dužeg trajanja djelovanja sile, pritisak se prenosi na sve slojeve materijala. Ovi efekti su naročito važni kod slobodnog kovanja materijala.

Dakle, osnovne razlike između kovanja i presovanja se ogledaju u brzini zamaha malja ili alata koji vrši pritisak na predmet obrade, jačini pritiska i vremenu trajanja.

Potrebno je napomenuti da se kod kovanja bolji efekat postiže upotrebom čekića veće težine u odnosu na čekiće manje težine, pa makar oni svoju manju težinu nadoknadili većom visinom pada čekića, odnosno većim zamahom.

5.3.2 OBRADA MATERIJALA KOVANJEM

Kovanje je takav postupak plastične obrade materijala kod kojeg se pod dejstvom udarne sile alata (čekića) dobija predmet odgovarajućeg oblika i dimenzija. Kovanje se izvodi u vrućem stanju, mada ima metala koji se daju kovati i u hladnom stanju. Kovanjem se dobijaju otkivci koji se danas mnogo primjenjuju kod automobila, motora, poljoprivrednih mašina, raznih uređaja za željezničku opremu, za domaćinstvo itd. Materijali koji se koriste za kovanje su prije svega, čelici, bakar i njegove legure, aluminij i njegove legure i drugi. Od čelika se najviše koriste ugljenični konstruktivni čelici, čelici za cementaciju i čelici za poboljšanje.

Otkivci od bakarnih legura imaju široku primjenu u svim granama industrije, a naročito u elektroindustriji i industriji raznih aparata.

Otkivci od aluminija i njegovih legura, zbog veoma dobrih svojstava vidno mjesto zauzimaju u avioindustriji, brodogradnji, industriji vagona i motornih vozila.

Obzirom da se postupak kovanja izvodi u vrućem stanju, **zagrijavanju** obratka se posvećuje posebna pažnja.

Kovanje čelika se vrši u temperaturnom intervalu u kome čelik ima najveću plastičnost i najmanji otpor plastičnoj promjeni oblika i dimenzija, a pod temperaturnim intervalom podrazumijevamo interval između temperature početka i završetka kovanja komada. Treba

naglasiti da je temperatura na kraju zagrijavanja veća od temperature na početku kovanja, jer se jedan dio toplote gubi za vrijeme prenošenja komada od peći za zagrijavanje do mjesta kovanja.

Temperatura kovanja ugljeničnih čelika je niža ukoliko je sadržaj ugljika u čeliku veći.

Tabela T10 Temperature kovanja nekih vrsta čelika

| Vrste čelika | Temperatura kovanja u $^{\circ}\text{C}$ | | | | | | |
|--|---|-------|------------|---------------|------------|-------|------------|
| Obični čelici sa garantovanim mehaničkim osobinama | <table border="0"> <tr> <td>mehki</td> <td>900 - 1200</td> </tr> <tr> <td>srednje tvrdi</td> <td>900 - 1150</td> </tr> <tr> <td>tvrdi</td> <td>850 - 1100</td> </tr> </table> | mehki | 900 - 1200 | srednje tvrdi | 900 - 1150 | tvrdi | 850 - 1100 |
| mehki | 900 - 1200 | | | | | | |
| srednje tvrdi | 900 - 1150 | | | | | | |
| tvrdi | 850 - 1100 | | | | | | |
| Ugljenični alatni čelici | 750 - 1100 | | | | | | |
| Čelici za poboljšanje | 850 - 1100 | | | | | | |
| Legirani alatni čelici | 850 - 1050 | | | | | | |
| Brzorezni čelici | 900 - 1150 | | | | | | |

Pored visine temperature od velike važnosti su brzina i vrijeme trajanja zagrijavanja. Zagrijavanje mehkog ugljeničnog čelika (do 0,4% C) do temperature kovanja treba obaviti brzo i ravnomjerno, a tvrde ugljenične i legirane čelike treba najprije grijati lagano (do 700 $^{\circ}\text{C}$), a zatim većom brzinom do temperature kovanja.

Vrijeme trajanja zagrijavanja zavisi od više faktora kao što su :

- dimenzije presjeka komada, što je presjek komada veći duže je vrijeme zagrijavanja,
- oblik predmeta, što je veća površina a manja zapremina određenog komada kraće je vrijeme zagrijavanja,
- raspored komada u peći u odnosu na izvor toplote, što je bolji dotok toplote komadu vrijeme zagrijavanja je kraće,
- toplotna provodljivost materijala, ako je provodljivost veća zagrijavanje je kraće,
- razlika temperatura površine i sredine komada (ako je komad bio prethodno zagrijavan) itd.

Komad pri zagrijavanju treba da je ravnomjerno zagrijan po cijelom presjeku radi poboljšanja kvaliteta kovanja. U slučaju nepravilnog režima zagrijavanja u materijalu se pojavljuju negativne pojave kao što su:

- Oksidiranje ili oksidacija površinskog sloja materijala (obrazovanje okujine), nastupa usljed dještva kisika iz atmosfere u peći za grijanje i materijala priprema. Računa se da jedno zagrijavanje iziskuje stvaranje jedan do dva procenta okujine, te treba težiti što manjem broju

zagrijavanja komada. Prije kovanja okujina se obavezno treba odstraniti. Od najuticajnijih faktora na formiranje oksidnog sloja su: temperatura u peći, vrijeme zagrijavanja i sastav gasova u peći (grejnom prostoru).

- Smanjenje sadržaja ugljika u površinskom sloju, nastupa pri zagrijavanju na temperaturama od 800 do 850 °C, djelstvom ugljika iz površine materijala i kisika i stvaranjem CO i CO₂. Ovim se smanjuje površinska tvrdoća otkovka.

(Oksidiranje površinskog sloja, kao i smanjenje sadržaja ugljika u površinskom sloju danas se sprječava korišćenjem peći sa neutralnom atmosferom (nema prisustva kisika).

- Pregrijavanje materijala nastaje prekoračenjem temperature početka kovanja i držanjem komada na toj temperaturi duže vrijeme. Kao posljedica nastaje stvaranje okujine i krupnozrnaste strukture (nepovoljna struktura za kovanje). Pregrijani materijal ima manju plastičnost i žilavost, a pri kovanju dolazi do stvaranja pukotina u materijalu. Krupnozrnastu strukturu pregrijanog čelika možemo popraviti termičkom obradom žarenjem.

- Pregaranje čelika nastaje zagrijavanjem na previsokoj temperaturi (do pojave varničenja). U tom slučaju javlja se oksidacija zrna u dubljim slojevima materijala. Takav čelik postaje krt i lomljiv, te pri vrlo niskim opterećenjima dolazi do loma. Pregorjeli čelik se ne može popraviti i postaje neupotrebljiv.

- Nepotpuno zagrijavanje, nastaje prilikom prekratkog vremena zagrijavanja. Materijal se pri tom ne zagrije ravnomjerno po cijelom presjeku pa ima malu plastičnost, naročito u centralnoj zoni otkovka.

U manjim kovačnicama temperatura kovanja se ponekad određuje prema bojama čelika na određenim temperaturama, ali za ovo treba veoma dobro iskustvo. Najpouzdanije određivanje temperature omogućavaju mjerni instrumenti (termometri i pirometri) ugrađeni u peći za zagrijavanje.

Zagrijavanje materijala za kovanje se vrši u kovačkim vatrama i kovačkim pećima. Kovačke vatre se koriste za zagrijavanje manjih komada, a mogu biti nepokretne i pokretne kovačke vatre. Kao gorivo se koristi sitni ugalj ili koks. Zagrijavanje komada ovim postupkom je neravnomjerno.

Peći se koriste za zagrijavanje komada većih dimenzija. One imaju niz prednosti u odnosu na kovačke vatre i za zagrijavanje materijala se danas uglavnom koriste peći.

Postoje razni tipovi peći za zagrijavanje kao što su: peći zatvorenog tipa, peći sa zagrijavanjem vazduha, električne peći itd.

Kovanje se može vršiti na više načina te prema tome kako se vrši promjena oblika materijala razlikujemo slobodno kovanje i kovanje u ukovnju.

Prema izvoru sile kojom alat djeluje na materijal razlikuje se ručno i mašinsko kovanje.

5.3.3 RUČNO KOVANJE

Ručnim kovanjem se kuju manji predmeti i u manjim količinama, a zagrijavanje tih predmeta se vrši u kovačkim vatrama. Za kovanje se koristi vrlo raznovrstan kovački alat, između ostalih najviše se koriste sljedeći alati:

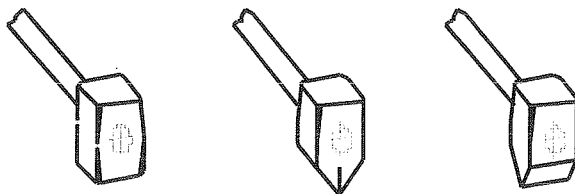
- Kovački čekić je najvažniji alat za ručno kovanje. Prema veličini odnosno težini razlikuju se čekići kojima se kuje jednom rukom - do 2,5 (kg) i čekići kojima se kuje objema rukama - 3 - 10 (kg).

Čekići prema namjeni mogu biti obični i specijalni kovački čekići. Obični čekići se koriste za opće kovačke radove i tu obično spadaju čekići sa i bez oštrice (Slika 5.21).

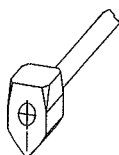
Specijalni kovački čekići su namijenjeni za specijalne kovačke operacije koje se običnim kovačkim čekićima ne bi mogle izvoditi. Od specijalnih kovačkih čekića najčešći je čekić sjekač, čija je jedna strana u vidu oštrice i namijenjena je za odsijecanje

- Čekić probijač, koji umjesto oštrice ima šiljak za probijanje.

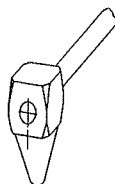
- Čekić podmetač se koristi za ravnanje i glačanje površina. Njime se ne udara, već se on mirno postavlja na određenu površinu, a po njemu se udara pomoću čekića - malja.



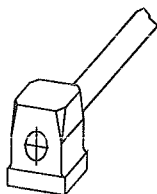
Slika 5.21 Obični kovački čekići



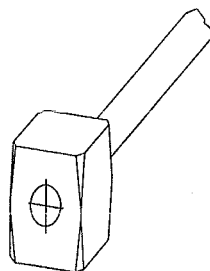
Slika 5.22 Čekić sjekač



Slika 5.23 Čekić probijač

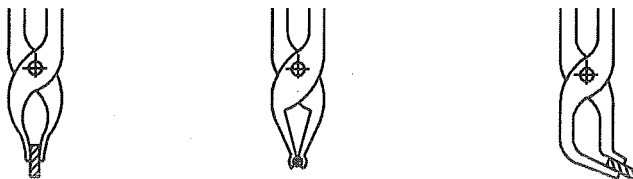


Slika 5.24 Čekić podmetač



Slika 5.25 Čekić - malj

- Kovačka kliješta- služe za stavljanje predmeta u vatru, za njihovo vađenje iz vatre kao i za držanje predmeta prilikom kovanja. Postoje različite izvedbe kovačkih kliješta zavisno od njihove namjene. Čeljusti kliješta se izvedu u raznim oblicima, zavisno od komada koji se pridržava - pljosnati, okrugli, pravougaoni ili neki drugi.

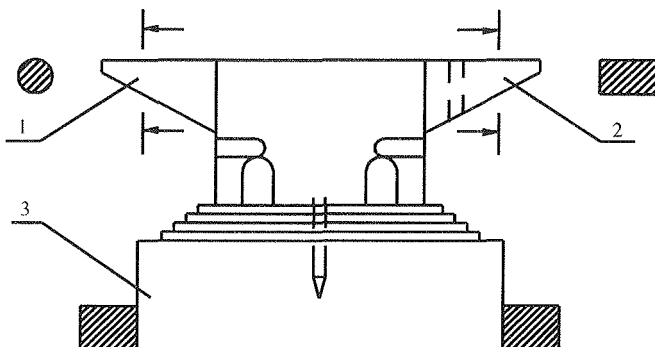


Slika 5.26 Oblici kovačkih kliješta

Kovački alati se prave od kovanog čelika čija je površina zakaljena do potrebne tvrdoće. Ponekad se vrši i cementacija površine.

Među kovačke alate ubraja se i nakovanj koji služi kao podloga prilikom kovanja. Njegova masa mora biti 10 - 20 puta veća od mase čekića odnosno malja kojim se kuje. Masa nakovnja u manjim kovačnicama kreće se od 100 do 150 (kg), a u većim od 200 do 300 (kg). Jedna strana nakovnja ima okrugli šiljak (1) a druga kvadratni završetak (2). Nakovanj se obično postavlja na drveni panj (3) radi amortizacije udaraca pri kovanju.

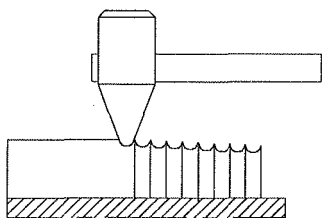
Nakovanj se izrađuje od kovanog čelika a rjeđe od kovanog gvožđa. Veći nakovnji se izrađuju od livenog čelika sa licem (gornja površina nakovnja) u obliku ploče od tvrdog čelika.



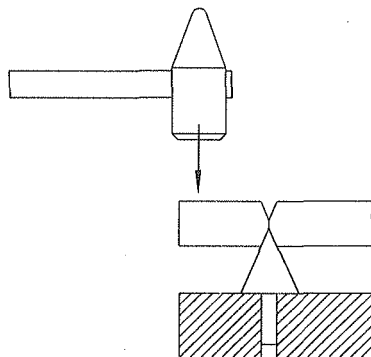
Slika 5.27 Kovački nakovanj

Osnovne kovačke operacije. U osnovne kovačke operacije spadaju: iskivanje, sabijanje, odsijecanje, probijanje, savijanje i drugo. Njihovom kombinacijom mogu se izvoditi dosta složene kovačke operacije.

- Iskivanjem se povećava dužina radnog predmeta na račun smanjenja poprečnog presjeka (Slika 5.28). Obavlja se pomoću oštrice čekića. Pri iskivanju predmet se povremeno okreće za 90° , tako da se kuje čas po jednoj čas po drugoj strani.



Slika 5.28 Iskivanje



Slika 5.29 Odsijecanje

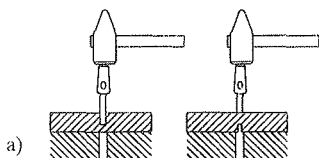
- Sabijanje je proces suprotan iskivanju. Ovim postupkom se predmet na određenom mjestu zadeblja, kao što je slučaj kod izrade glave zavrtnja i slično. Sabijanje se može vršiti po cijeloj dužini predmeta ili mjestimično. Ako se vrši na jednom dijelu komada, onda se samo taj dio zagrijava dok ostali dijelovi predmeta ostaju hladni.

- Odsijecanje predstavlja kovačku radnju kojom se jedan dio predmeta odvajava od osnovnog dijela predmeta udarcima čekića. Pomoću čekića sjekača ili podmetača klinastog oblika (Slika 5.29) predmet se zasiječe sa svih strana presjeka, tako da mu se presjek smanji na veličinu koja se lahko odbija udarcima čekića. Tanki predmeti mogu se sjeći i u hladnom stanju.

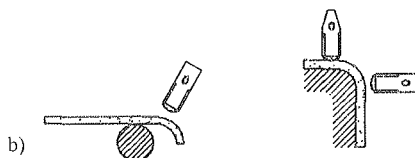
- Probijanje predstavlja pravljenje otvora u nekom predmetu (Slika 5.30). Vrší se čekićem probijačem, pri čemu se otvor nalazi iznad otvora na ukovnju.

Prvo se napravi slijepa rupa sa jedne strane predmeta, zatim se predmet okreće za 180° i probijanje se vrši u pravcu slijepa rupe.

- Savijanje je česta kovačka radnja koja se izvodi na razne načine pri čemu je materijal potrebno zagrijati na mjestu na kome se vrši savijanje. Savijanje šipke za određeni radijus vrši se na šiljatom rogu nakovnja (Slika 5.31 a). Manji profili se savijaju na ivici nakovnja (Slika 5.31 b), gdje se jednim čekićem vrši savijanje a drugim po potrebi pridržavanje predmeta. Kod savijanja treba paziti da se predmet na mjestu savijanja suviše ne stanji i time oslabi, pa je ponekad na tim mjestima potrebno prethodno izvršiti sabijanje komada a tek onda savijanje. Takođe treba paziti da ne dođe do pukotina ili nabora na mjestu savijanja.



Slika 5.30 Probijanje



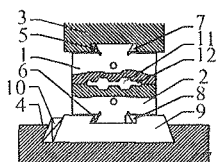
Slika 5.31 Savijanje

5.3.4 KOVANJE I PRESOVANJE U UKOVNJIMA

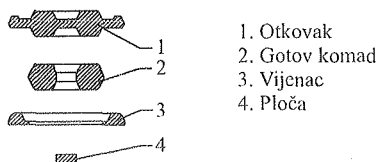
Kovanje u ukovnjima je proces kod kojeg metal pod djejtvom udara malja kovačkog čekića, ili pod pritiskom pritiskivača prese, popunjava profilisani prostor (u obliku otkovka) izrađen u kovačkom alatu - ukovnju.

Ukovanj se sastoji iz gornjeg i donjeg dijela (Slika 5.32). Gornji dio alata se sastoji iz gornjeg ukovnja (1), koji je pomoću klina (5) i završetka u obliku lastinog repa vezan sa maljem čekića (3).

U donjem dijelu alata se nalazi donji ukovanj (2), koji se takođe spaja sa nosačem alata (9) preko lastinog repa i klina (6). Centriranje alata u pravcu normalnom na pravac kretanja malja vrši se bočnim gornjim (7) i bočnim donjim (8) centriranjem. Donji nosač alata (9) je klinom (10) učvršćen u nakovnju čekića, odnosno prese (4). Otkovak se formira u gravuri (11) koja je, u gornjem i donjem dijelu ukovnja, izgrađena prema obliku i konfiguraciji otkovka. Količina početnog materijala je veća od količine gotovog otkovka koji dalje ide na obradu skidanjem strugotine. Taj višak materijala utiče na pravilno popunjavanje gravure i oko otkovka formira vijenac koji se kasnije odsijeca. Dakle, kovanjem u ukovnju se dobija otkovak (Slika 5.32) sa sljedećim elementima: otkovak (gotov komad), vijenac i pločica.



Slika 5.32 Elementi ukovnja



Slika 5.33 Elementi otkovka

Redosljed tehnološkog procesa kovanja je sljedeći:

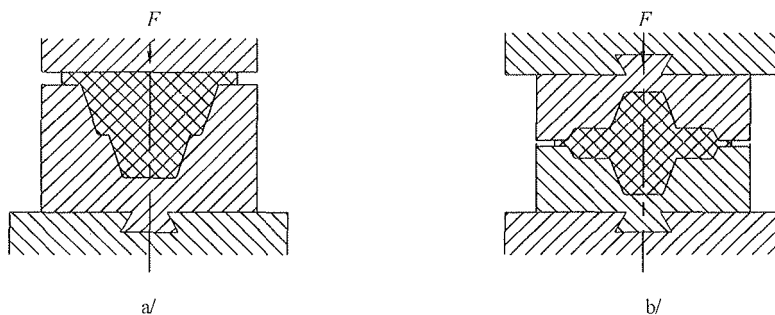
- odsijecanje i priprema sirovog komada,
- zagrijavanje početnog oblika materijala na temperaturu kovanja,
- oslobađanje zagrijanog komada od okujine,
- kovanje u ukovnju,
- odsijecanje (krzanje vijenca i probijanje pločica),
- termička obrada radi postizanja odgovarajućih mehaničkih osobina,
- čišćenje i
- kontrola otkovka.

Obzirom da je ukovanj pri radu izložen visokim temperaturama, materijal za njegovu izradu mora da zadovolji uslove kovanja (visoka temperatura, habanje, udari itd.). Izbor materijala za izradu ukovnja zavisi od više faktora kao što su : dimenzije i složenost otkovka, vrsta materijala otkovka, broj komada u seriji i drugo. Za jednostavne otkovke manjih dimenzija upotrebljavaju se ugljenični alatni čelici, a u svim drugim slučajevima visokolegirani čelici.

Prema obliku razlikujemo otvoreni i zatvoreni ili rastavljivi ukovanj.

Otvoreni ukovnji su oni ukovnji, kod kojih se gravura, koju ispunjava materijal obratka u toku kovanja, nalazi u donjem dijelu alata, dok je gornji dio alata bez gravure (Slika 5.34 a).

Zatvoreni ukovanj je onaj ukovanj kod koga je prostor koji se ispunjava materijalom obratka ograničen - zatvoren dijelovima alata (Slika 5.34 b) . Kod njega se jedan dio gravure nalazi u gornjem, a drugi u donjem dijelu alata.



Slika 5.34 Oblici alata za kovanje

U zavisnosti od konfiguracije (oblika otkovka) alati za kovanje mogu biti sa jednom ili sa više gravura. Za otkovke složenog oblika koriste se alati sa više gravura.

Svaka gravura ima određenu ulogu u procesu oblikovanja pa se na osnovu toga mogu podijeliti na:

- gravure za pripremno,
- međuoblikovanje i
- završno oblikovanje.

Alati koji rade kovanjem su relativno slični alatima koji rade na presama. Pošto se na presa oblikovanje vrši u jednom hodu pritiskivača prese a kovanje iz više udaraca, time je vijek trajanja alata na presa veći. Takođe kod alata na presa gornji i donji dio alata moraju biti razdvojeni. Dakle, sve mašine koje se koriste za kovanje možemo podijeliti i tri osnovne grupe koje sačinjavaju: mehanički čekići, prese i specijalne mašine za kovanje.

5.3.5 MAŠINE ZA KOVANJE

Kovanje većih i složenijih dijelova, te izrada dijelova u većim serijama, ručnim kovanjem bi bilo neizvodljivo, a samim tim proces bi bio veoma neekonomičan. Zbog toga se u ovim slučajevima koriste kovačke mašine koje se nazivaju mehanički čekići. Nakovanj sa postoljem, malj sa vođicama i mehanizam za podizanje kao i ostale prateće dijelove nazivamo mehaničkim čekićima. Princip rada čekića sastoji se u podizanju malja ili bata na određenu visinu, odakle se spušta (pada) na radni predmet i pri tome vrši deformacioni rad.

U konstruktivnom pogledu mehanički čekići moraju biti tako napravljeni da se može regulisati jačina njihovog udarca i učestalost tj. broj udara u jedinici vremena. Mehanički čekić mora dozvoljavati i lahko manevrisanje maljem tako da se on može sa sigurnošću zaustaviti i zadržati u svakom položaju i na svakoj visini, za vrijeme postavljanja, promjene dimenzija predmeta, izmjeni kalupa itd. Temelji mehaničkih čekića igraju važnu ulogu obzirom na iskorišćenje udara za deformaciju otkovka, kao i prenos štetnih potresa na okolinu mehaničkih čekića. Temelji moraju biti masivni i sigurni, a mogu biti odvojeni ili spojeni sa temeljem samog čekića. Vođice po kojima klizi malj čekića treba da obezbjeđuju tačan pravac kretanja malja.

5.3.6 VRSTE I PRINCIP MEHANIČKIH ČEKIĆA

Obzirom da se kovanje vrši udarcima malja odnosno padom malja na obradak, bitno je napomenuti da malj pada usljed sopstvene težine (težine padajućih dijelova) ili da pri tom na malj djeluje još i neka dodatna sila (sila opruge, vazduh ili para pod pritiskom) koja pojačava njegovo dještvo.

Prema načinu djelovanja mehaničke čekiće dijelimo na čekiće sa slobodnim padom i čekiće sa pojačanim dještvom malja ili čekiće dvostrukog dještva.

Čekići sa slobodnim padom malja. Ovi čekići se najčešće upotrebljavaju za kovanje u ukovnjima, a veoma rijetko za slobodno kovanje. Kod njih se malj čekića diže na određenu visinu mehaničkim putem, odakle pada na predmet slobodnim padom. Deformacioni rad čekića pri tom zavisi od težine padajućih dijelova i visine pada. Dizanje malja može se vršiti na više načina: pomoću frikcionih točkova i daske, pomoću kaiša, pomoću pare i komprimiranog vazduha. Kod prve dvije vrste podizanje malja se ostvaruje trenjem pa se još nazivaju i frikcionim čekići. Danas se ova vrsta čekića rijetko upotrebljava a sve se češće upotrebljavaju čekići sa pojačanim dještvom malja.

Čekići sa pojačanim dještvom malja. Kod ovih čekića jačina udarca ne zavisi samo od težine padajućih dijelova, već je pojačana dodatnom silom opruge, vodene pare, komprimiranog vazduha itd. Prema izvoru dodatne sile čekići su i dobili nazive: opružni, vazdušni, parni čekići.

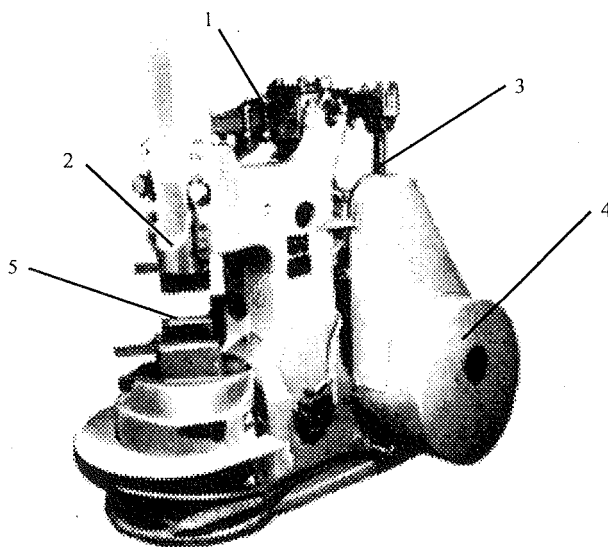
Opružni čekić koristi snop lisnatih opruga vezanih buhvatnim okovom (1), (Slika 5.35) kao dodatnu silu za kovanje. Na jednom kraju te opruge pričvršćen je produžetak malja (2), dok je za drugi kraj vezana spojna opruga (3). Ova opruga sastavljena je od dva pljosnata lista, a donjim krajem je vezana za ekscentar (4) od kojeg dobija pogon.

Prilikom hoda ekscentra ka donjoj tački, povlači spojnu oprugu, a ova lisnatu i time se vrši podizanje malja u gornji položaj. Tom prilikom lisnata opruga, a takođe i spojna akumulira određenu količinu energije, koju oslobađa pri udaru malja o radni predmet čime se pojačava dještvo malja. Malj udara u predmet pomjeranjem ekscentra u gornji položaj, a dodatna funkcija opruge je amortizacija udara malja o radni predmet postavljen na nakovnju (5).

Karakteristike opružnog čekića:

- masa malja od 30 do 300 (kg),
- visina hoda je 150 do 400 (mm),
- broj udaraca u minuti 150 - 400.

Ovi čekići su pogodni za slobodno kovanje.



Slika 5.35 Čekić sa oprugom

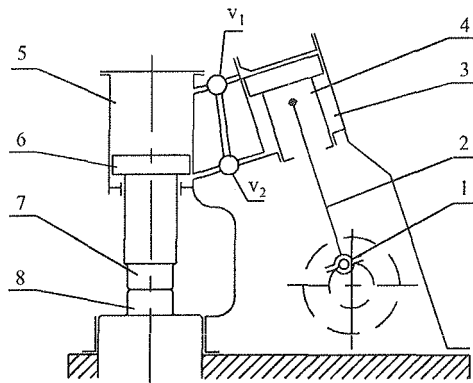
Vazdušni čekići. Kao pogonsko sredstvo koristi se komprimirani vazduh koji se dovodi posebnim cjevovodima sa jednog centralnog mjesta, ili čekići sami obezbjeđuju dovoljnu količinu vazduha za rad.

Princip rada ovog čekića šematski je prikazan na Slici 5.36 . Kretanjem ekscentra (1) ka donjoj tački, preko klipnjače (2), klip (4) se pomjera naniže u kompresivnom cilindru (3). Pri tome klip sabija vazduh u cilindru koji posredstvom ventila (v2) dolazi u donji dio cilindra (5) i podiže klip (6) na koji je vezan malj (7) . To je povratni hod malja. Radni hod se ostvaruje daljim kretanjem ekscentra, tj. kretanjem ekscentra ka gornjem položaju, pri čemu klip (4) preko ventila (v1) ubacuje zrak pod pritiskom u gornji dio cilindra (5) pri čemu se klip (6) a time i malj čekića pomjera u donji položaj pritiskujući radni predmet.

Ventili su izvedeni u obliku obrtnih razvodnika koji se pomjeraju pomoću ručne ili nožne poluge a mogu se pomjerati i mehaničkim putem. Zahvaljujući mogućnosti regulacije otvaranja i zatvaranja ventila moguća je i regulacija rada malja tako da on proizvodi pojedinačne udarce. Pomenutom regulacijom omogućeno je da malj može ostati u izdignutom položaju ili da čvrsto pritiskuje materijal uz nakovanj. I vazdušni čekići kao i opružni su pogodni za slobodno kovanje a i za kovanje u ukovnjima.

Karakteristike vazdušnih čekića:

- masa malja od 75 do 500 (kg) ,
- broj udaraca u minuti 120 do 200.



Slika 5.36 Šema vazdušnog čekića

Parni čekići. Kod parnih čekića, para kao pogonsko sredstvo se još koristi i za pojačano djelovanje malja pri radnom hodu. Za rad čekića je potrebno obezbijediti parni kotao (za proizvodnju pare) i instalaciju za dovod pare od kotla do čekića.

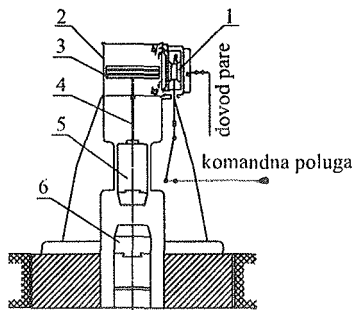
Na Slici 5.37 šematski je prikazan princip rada parnog čekića.

Dovod pare od kotla se vrši od razvodnika pare (1) do cilindra (2) u kome je smješten klip (3). Klip je preko klipne poluge (4) vezan za malj čekića (5). Radni predmet se postavlja, kao i kod svih čekića, na ukovanj (6). Regulacija pare u razvodnoj komori vrši se komandnom polugom (ručno ili automatski). Kada je razvodnik pare u donjem položaju, para kroz razvodni kanal (k_1) ulazi u gornji dio cilindra i time potiskuje klip u donji položaj, a kao rezultat ostvaruje se radni hod malja. Razvodnik se zatim pomjera u gornji položaj pri čemu svježa para ulazi u donji dio cilindra preko kanala (k_2), a para iz gornjeg dijela preko posebnog kanala odlazi u atmosferu ili se koristi za druge svrhe. Pri tome dolazi do pomjeranja klipa u gornji položaj, a sa njim i do podizanja malja čekića.

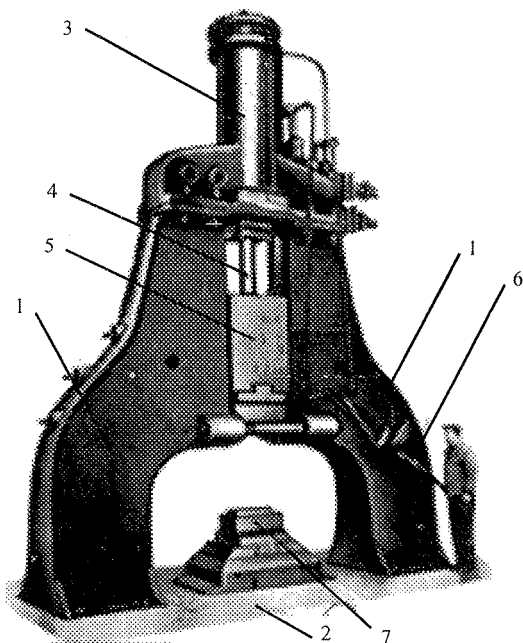
Kod čekića je moguće podešavati jačinu udarca malja kao i zaustavljanje malja u bilo kom položaju. Ovo se ostvaruje mogućnošću regulacije pritiska pare. Masa malja je do 5 (tona) a najčešće do 2 (tone).

Nedostatak čekića je zahtjev za posebnim postrojenjima za proizvodnju pare, ukoliko se para koristi samo za rad čekića, a takođe je i velika potrošnja pare.

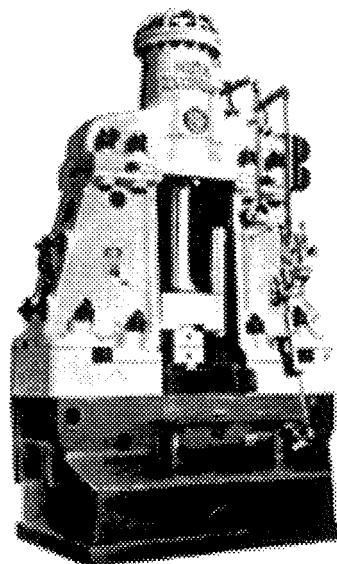
Da bi se otklonili nedostaci parnih čekića, danas se proizvode vazdušno-parni čekići koji se mogu prilagoditi postojećoj instalaciji u pogonu (koriste paru ili komprimirani vazduh).



Slika 5.37 Šema parnog čekića sa pojačanim djejtvom



Slika 5.38 Vazdušno-parni čekić
za slobodno kovanje



Slika 5.39 Vazdušno-parni čekić
za kovanje u kalupima

Stubovi (1) (Slika 5.38) su sa donje strane pričvršćeni za ploču (2) a sa gornje strane za njih je pričvršćen cilindar (3) sa klipom za koji je vezan, preko klipnjače (4), malj čekića (5).

Razvod pare u razvodnoj komori je omogućen pomoću razvodne poluge (6). Stubovi čekića imaju takav oblik da ostavljaju mnogo slobodnog prostora oko postolja (7) i predmeta koji se kuje. Zbog toga je omogućeno kovanje velikih otkovaka, uglavnom slobodnim kovanjem. Kod ovih čekića je takođe osigurana amortizacija udaraca klipa o gornji dio cilindra pomoću sigurnosnih odbojnika.

Karakteristike čekića:

- masa padajućih djelova od 1000 do 8000 (kg),
- broj udaraca u minuti od 40 do 60,
- hod malja od 1000 do 1800 (mm).

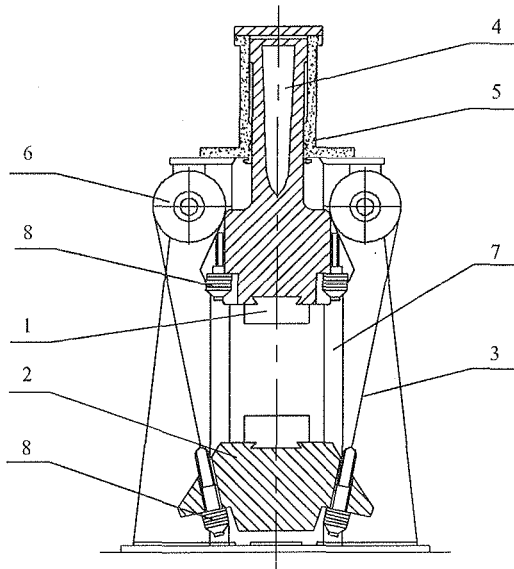
Na Slici 5.39 je prikazan vazdušno-parni čekić kod koga je princip rada sličan kao kod prethodnog čekića, ali je konstruktivna izvedba nešto drugačija, pa se on koristi za kovanje manjih djelova u ukovnjima.

Noviju izvedbu čekića sa dvostrukim djejtstvom predstavljaju **protivudarni čekići** (slika 5.40). Kod njih se istovremeno pomjera i malj i nakovanj jedan prema drugome, tako da do udarca dolazi negdje u sredini između njihovih krajnjih položaja u mirnom stanju. Svrha ovakve konstrukcije je otklanjanje lošeg efekta udarca koji se preko fundamenta prenosi na okolne mašine.

Istovremeno pomjeranje malja (1) i nakovnja (2) omogućeno je pomoću čeličnih konopaca (3) koji su prebačeni preko tanjirastih gumenih koturova (6), a krajevi su spojeni na malj i nakovanj. Malj je napravljen iz jednog dijela sa klipom (4) koji se kreće u cilindru (5) pomoću

pare ili komprimiranog vazduha. I za malj i za nakovanj su zajedničke vođice (7), tako da je mala mogućnost prenošenja potresa na okolinu. Ublažavanje prenosa potresa je ostvareno i na taj način što je čelični konopac vezan sa nakovnjem i sa maljem pomoću elastičnih blokova od gume (8). Broj udaraca je dosta mali i iznosi od 10 do 20 udaraca u minuti.

Nedostatak ovih čekića je taj što se čelični konopci odnosno trake brzo kvare.



Slika 5.40 Protivudarni čekić

5.3.7 MAŠINE ZA PRESOVANJE (PRESE)

Već smo ranije istakli da je osnovna razlika između presa i čekića u dužini trajanja pritiska alata na radni predmet. Kod presa taj proces traje duže, pa se na njima pored presovanja obavljaju i druge radnje kao što su: duboko izvlačenje, odsijecanje, prosijecanje, savijanje itd.

U zavisnosti od načina pogona malja tj. od načina prenosa sile od njenog izvora na pritiskivač, prese dijelimo u dvije grupe: prese sa direktnim pogonom i prese sa indirektnim pogonom.

5.3.7.1 Prese sa direktnim pogonom

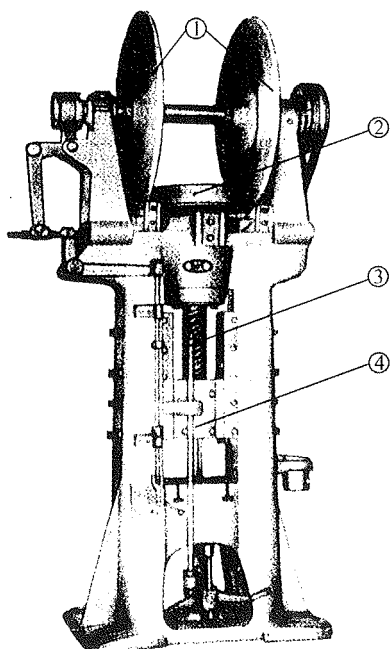
Ove prese su prema načinu djelovanja pritiskivača dosta slične mehaničkim čekićima jer imaju brzi hod pritiskivača. Prema načinu djelovanja pritiskivača dijele se na frikционе prese i krivajne prese.

Frikcione prese se upotrebljavaju za presovanje manjih komada. Najčešće je u upotrebi frikciona presa sa dva diska (Slika 5.41).

Na horizontalnom vretenu prese nalaze se dva diska (1) koji pomjeranjem u lijevo ili u desno, prenose obrtno kretanje (jednog diska) na točak - zamajac (2), trenjem koje se stvara između diska i frikционе obloge na zamajcu. Obrtanje zamajca se prenosi na zavojno vreteno (3), koje se uvrće u bronzanu čahuru i ostvaruje vertikalno pomjeranje. Vreteno je vezano sa pritiskivačem prese (4) te se tako kinetička energija zamajca pretvara u pritisak malja za presovanje.

Kretanje vretena odnosno malja (radni i povratni hod) zavisi od toga koji je od dva diska u vezi sa zamajcem. Radni i povratni hod se regulišu automatski preko graničnika i poluga prese, a po potrebi ga je moguće i ručno regulisati.

Kod ovih presa je glavni nedostatak u mogućnosti proklizavanja između diska i zamajca, pa se zbog toga zamajac oblaže frikcionom oblogom od kože ili nekog drugog specijalnog frikcionog materijala. Sila pritiska malja koji se može ostvariti frikcionim presama kreće se od 400 (KN) do 15 (M).



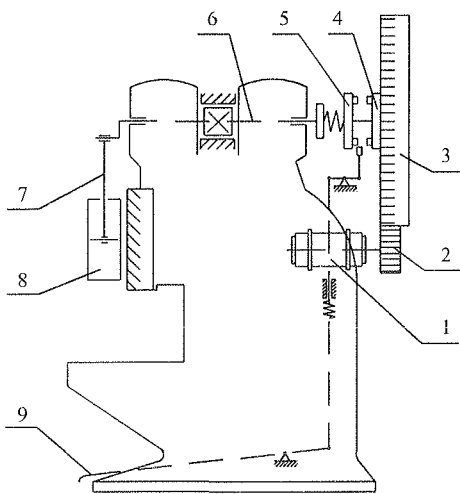
Slika 5.41 Frikciona presa

Krivajne prese. Kao pogonski mehanizam pritiskivača kod krivajnih presa služi prosti mehanizam krivaje ili kombinovan sa još nekim drugim kinematskim elementima. Pogon pritiskivača se ostvaruje najčešće pomoću ekscentra ili koljenastog mehanizma. U zavisnosti od toga i prese mogu biti različito izvedene, te razlikujemo prese sa pogonskim mehanizmom u vidu prostog mehanizma krivaje, ekscentar prese i koljenaste prese.

Kod presa sa prostim mehanizmom krivaje (Slika 5.42) prenos se ostvaruje sa elektromotora (1), preko zupčanika (2) na ozubljeni točak (3) koji ima ulogu zamajca.

Zamajac je vezan za desni dio spojnice (4), a lijevi dio spojnice (5) je vezan za vratilo (6). Pritiskom na pedalu (9) prenosi se kretanje na vratilo (6) (spajanjem lijeve i desne polutke spojnice), a zatim preko poluge (7) na pritiskivač prese (8).

Kao što se vidi kod ove vrste presa, zamajac je postavljen direktno na vratilo prese pa je hod malja ubrzan. Da bi se usporio hod malja, odnosno smanjio broj obrtaja vratila prese, između njega i pogonskog elektromotora se postavlja određeni broj zupčanika a zamajac se postavlja na pomoćno vratilo koje se nalazi između vratila elektromotora i vratila prese. Ovaj način prenosa je ostvaren kod ekscentar i koljenastih presa.



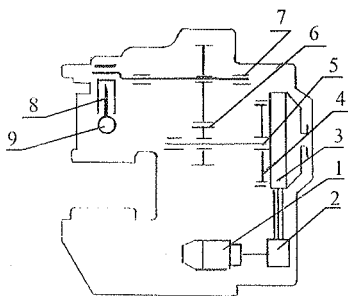
Slika 5.42 Šema prese sa pogonskim mehanizmom krivaje

- prijevremenim uključivanjem spojnice za vrijeme postavljanja materijala,
- prijevremenim uzimanjem komada u slučaju kašnjenja otpuštanja spojnice,
- pružanjem ruke ka unutrašnjem alatu poslije udara,
- ponovljenim neželjenim udarom,
- uključivanjem mašine ako je bila zaustavljena i slično.

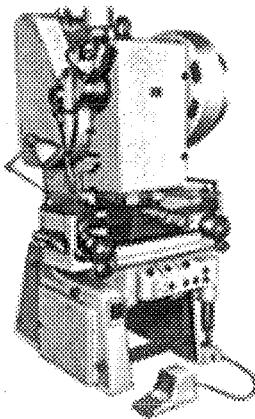
Ovo je onemogućeno na taj način što se uključivanje (okidanje) prese mora izvršiti djelovanjem na ručice mašine istovremeno sa obje ruke.

Koljenasta presa dobija pogon od elektromotora (1) (Slika 5.45) preko zupčanika (2) na zupčanik (3) koji je ujedno i zamajac, a čvrsto je vezan za vratilo (4). Na drugom kraju vratila vezan je zupčanik (5) sa kojim je u vezi zupčanik (6) vezan na koljenasto vratilo (7). Okretanjem ovog vratila kretna poluga (8) prenosi kretanje na pritiskivač (9).

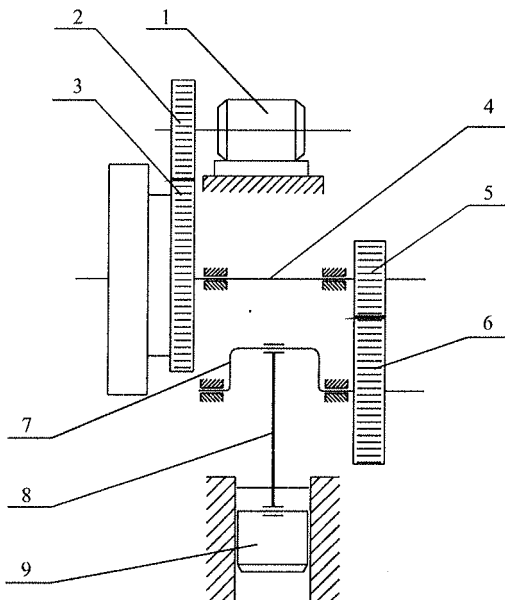
Ove prese su uglavnom namijenjene za razna oblikovanja materijala u hladnom stanju kao što su: prosijecanje, probijanje, savijanje, duboko izvlačenje i sl.



Slika 5.43 Kinematska šema ekscentar prese



Slika 5.44 Ekscentar presa



Slika 5.45 Šema rada koljenaste prese



Slika 5.46 Koljenasta presa

5.3.7.2 Prese sa indirektnim pogonom

Dok je kod do sada opisanih presa, pogonska snaga dovođena direktno na osovinu tih presa, kod presa sa indirektnim pogonom između izvora i prese se uključuje još i neko drugo sredstvo. U većini slučajeva to je voda, zatim komprimirani zrak i vodena para. Dakle, ove prese rade na principu hidrauličnog pogona (Paskalov zakon), pa se i nazivaju hidrauličnim presama.

Hidraulične prese se koriste u onim slučajevima gdje je nemoguće korištenje kovačkih čekića, jer su sporohodne pa im je proizvodnost veoma mala. One se uglavnom koriste u sljedećim slučajevima:

- kod kovanja otkovaka velikih dimenzija, za koje bi bila nedovoljna težina padajućih dijelova čekića,
- za kovanje materijala sa niskim plastičnim svojstvima koji ne dozvoljavaju veće brzine deformacije,
- za kovanje otkovaka kod kojih je potreban veliki hod pritiskivača (izvlačenje u vrućem stanju) i dr.

Zavisno od vrste sredstava za ostvarenje pogonske sile za rad pritiskivača postoje i različite vrste hidrauličnih presa kao što su:

- obične ili čisto-hidraulične prese,
- parno ili vazdušno-hidraulične prese i
- elektro-hidraulične prese.

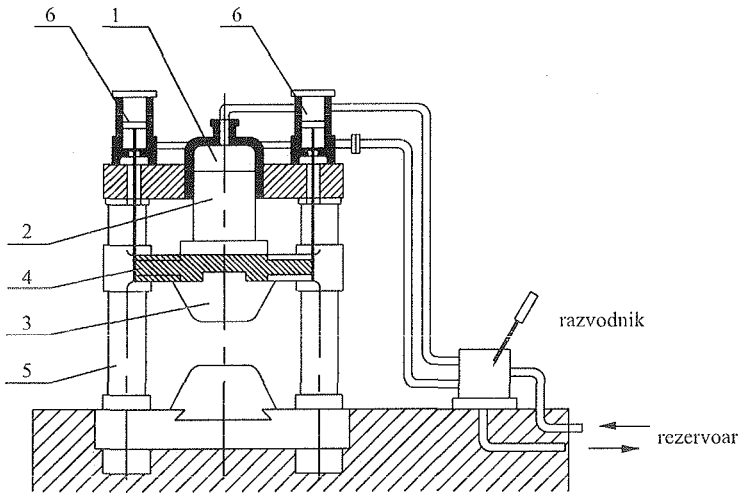
Obične hidraulične prese se primjenjuju kako kod slobodnog kovanja mašinskih otkovaka i kovanja u ukovnjima, tako i kod dubokog izvlačenja komada od lima.

Karakteristike ovih presa su: male i ravnomjerne brzine kretanja pokretnih dijelova, rad bez potresa i buke, deformacija materijala po cijelom presjeku itd.

Na Slici 5.47 , šematski je prikazana obična hidraulična presa.

Pomoću poluge na razvodniku se reguliše protok tečnosti pod pritiskom, tako da tečnost ide u glavni cilindar (1), a sila proizvedena na čelu klipa (2) prenosi se na tijelo pritiskivača (3), koji pomoću poprečne grede (4) klizi na stubovima (5). Na taj način ostvaruje se radni hod prese, pri čemu pritiskivač vrši pritisak na materijal postavljen na radnom stolu. Nakon završenog radnog hoda pritiskivača prese, tečnost se dovodi u cilindre (6) ispod klipova povratnika i to pod znatno nižem pritisku. Pošto su klipovi vezani za poprečnu gredu, a ova za pritiskivač to će podizanjem klipova i pritiskivač ići naviše (povratni hod prese). Voda koja se nalazila u glavnom cilindru vraća se preko razvodnika i cijevi u rezervoar pa se tako radni i povratni hod smjenjuju.

Pritisak u instalaciji čisto-hidrauličnih presa iznosi od 200 - 300 (bara), a sila pritiska malja i do 300 (MN).



Slika 5.47 Šema obične hidraulične prese

Kao što je vidljivo sa Šeme 5.47 , glavni pogon prese je iznad nivoa kovačnice. Kod presa sa povećanim brojem radnih hodova, tj. presa koje proizvode veće serije istih otkovaka, usljed rada dolazi do jakih vibracija cijele prese. Da bi se to otklonilo proizvode se prese za rad ispod nivoa kovačnice. Prednosti ovih presa u odnosu na prese na stubovima su:

- veća stabilnost prese i manje vibracije u toku rada,
- ne zahtijevaju veliku visinu hale,
- mogućnost korišćenja ulja kao tečnosti pod pritiskom, jer se cijevna instalacija nalazi ispod poda kovačnice pa je znatno smanjena mogućnost požara,
- bolja vidljivost pri radu i lakše manipulisanje alatima.

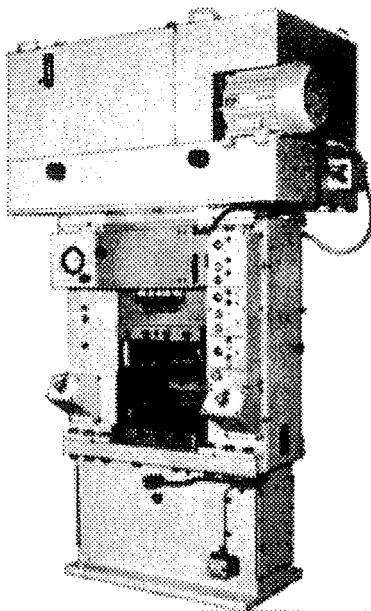
Nedostaci ovih presa su što zahtijavaju veću dubinu fundamenta (temelja) i što imaju 2-3 puta veće mase u radu.

Parno-hidraulične ili vazdušno-hidraulične prese za rad koriste paru, odnosno komprimirani vazduh. Jedno postrojenje parno hidraulične prese se sastoji od više glavnih elemenata, a to su : parni kotao, razvodnik pare, parno-pogonski aparat za povećanje pritiska ili multiplikator i presa.

Elektrohidraulične prese imaju poseban elektrohidraulični pogonski aparat ili se pumpa direktno priključuje za cilindar. Prilikom direktnog priključka pumpe riječ je o pumpnom agregatu sa dvije pumpe: pumpi visokog pritiska, koja služi za direktno potiskivanje tečnosti u cilindar prese prilikom radnog hoda, i pumpi niskog pritiska koja daje tečnost niskog pritiska za povratni hod pritiskivača.

Na Slici 5.48 prikazana je hidraulična dvovretna presa sa sljedećim karakteristikama:

- nominalna sila je 250 (MN),
- broj hodova u minuti je 70 ,
- snaga glavnog motora je 11(kW),
- dimenzije radnog stola 420x350 (mm),
- masa 4000 (kg).



Slika 5.48 Hidraulična dvovretna presa

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje

1. Koja je glavna razlika između kovanja i presovanja?
2. Šta se podrazumijeva pod kovanjem?
3. Objasniti greške koje nastaju u materijalu usljed nepravilnog zagrijavanja.
4. Na koji način se vrši određivanje temperature zagrijanog komada?
5. Navesti vrste kovanja.
6. Koji se alati koriste za ručno kovanje?
7. Objasniti osnovne kovačke operacije.
8. Navesti redoslijed tehnološkog procesa kovanja.

9. Objasniti oblike alata za kovanje - ukovnja.
10. Šta su mehanički čekići?
11. Navesti vrste mehaničkih čekića.
12. Objasniti princip rada vazdušnog čekića.
13. Koji je glavni nedostatak parnih čekića?
14. Koja je svrha uvođenja protivudarnih čekića?
15. Navesti vrste presa.
16. Objasniti princip rada ekscentar prese.
17. Koji su najčešći razlozi udesa na presama?
18. Navesti vrste hidrauličnih presa.
19. Objasniti princip rada obične hidraulične prese.
20. Od čega se sastoji postrojenje parno-hidraulične prese?
21. Kakve su to elektrohidraulične prese?

5.4 IZVLAČENJE LIMOVA

5.4.1 OSNOVNI POJMOVI O PROCESU IZVLAČENJA

Izvlačenje je proces obrade metala deformacijom kojim se iz pripremljena u obliku ravne ploče dobijaju obratci - posude sa zatvorenim dnom. Obrada se izvodi u hladnom stanju a samo u izuzetnim slučajevima u toplom.

Dakle, cilj postupka je da se iz ravne ploče posebnim alatom izrade posude raznih oblika i poprečnog presjeka. Proces izvlačenja pruža mogućnost da se najmanjim brojem radnih operacija i uz minimalni otpadak dobiju izvučeni elementi u konačnom obliku, tako da se mogu neposredno ugraditi u odgovarajući sklop.

Izvlačenjem se dobija veoma širok asortiman proizvoda među kojima vidno mjesto zauzimaju: dijelovi karoserija motornih vozila (blatobrani, krovovi, vrata, rezervoari, farovi, razni pokrivni elementi itd.), razni artikli životnog standarda (dijelovi za hladnjake, štednjake, grijače, posuđe, razna metalna ambalaža i slično), dijelovi za radio i televizijsku industriju i niz ostalih. Takođe se danas ovim postupkom proizvode i najodgovorniji dijelovi aviona i raketa.

Mašine za duboko izvlačenje su krivajne i hidraulične prese.

Početni oblik materijala (platina) može biti u obliku kruga, kvadrata, pravougaonika, elipse ili ma kakva zatvorena kontura čiji oblik zavisi od oblika izvučenog komada.

Izvlačenje se primjenjuje za obradu čelika, mesinga, bakra, cinka, aluminijuma i njihovih legura.

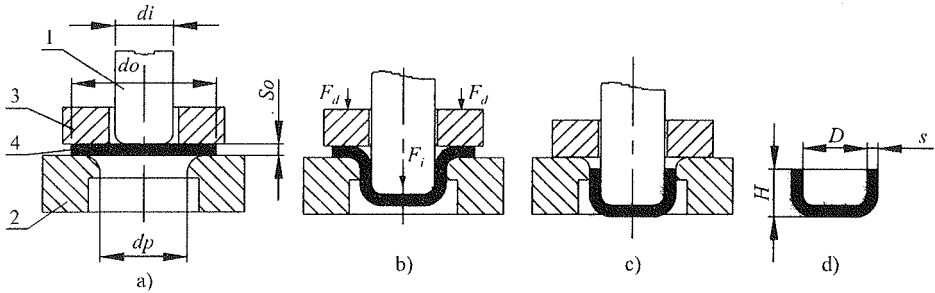
5.4.2 VRSTE I PRINCIP IZVLAČENJA

Duboko izvlačenje komada se može izvoditi na dva osnovna načina i to kao:

- duboko izvlačenje bez promjene debljine materijala i
- duboko izvlačenje sa stanjivanjem zida, odnosno sa redukcijom debljine materijala.

Iz šematskog prikaza toka izvlačenja bez promjene debljine materijala (Slika 5.49) može se uočiti da su osnovni radni elementi alata za izvlačenje izvlakač (1) i prsten za izvlačenje (2). Početni materijal (4) (prečnika D_0 i debljine S_0 se postavlja na prsten za izvlačenje) (Slika 5.49 a)

i pod djelstvom sile izvlačka (F_i) uvlači u prstenasti zazor između izvlačka i prstena. Da bi se spriječilo gužvanje lima i stvaranje nabora platina se u toku procesa izvlačenja (Slika 5.49 b) pridržava pločom držača lima (3) silom F_d . Rezultat izvlačenja je cilindrična posuda sa zatvorenim dnom (Slika 5.49 c). Izvučena posuda (5) (Slika 5.49 d) ima prečnik D , visinu H i istu debljinu (s) zida i dna kao i debljina početnog materijala.



Slika 5.49 Šema toka izvlačenja

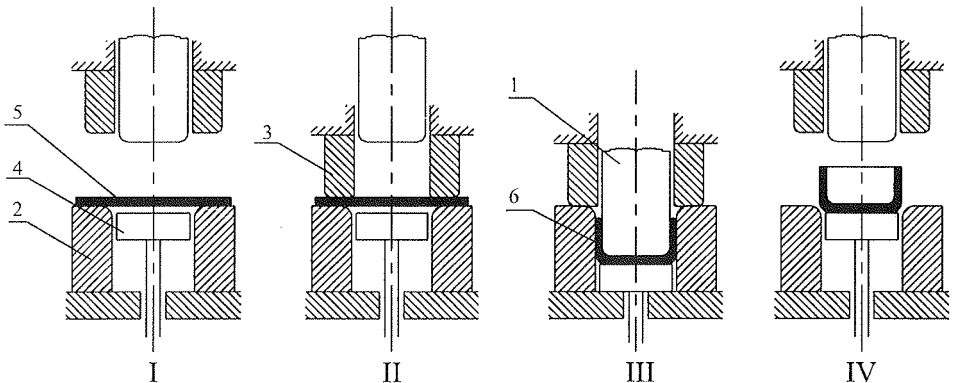
Izvlačenje na presama se odvija u nekoliko faza (Slika 5.50):

I - platina (5) se postavlja na prsten za izvlačenje (2) i naslanja na zračni izbijač (4).

II - držač platine se pomjera naniže sve do položaja pritezanja platine između ploče držača (3) i prstena za izvlačenje (2).

III - izvlačač (1) se pomjera naniže i izvlači posudu (6). Zato vrijeme držač miruje pridržavajući platinu, dok zračni izbijač pod pritiskom izvlačka se također pomjera naniže.

IV - Izvlačak se vraća u gornji položaj, dok držač izvjesno vrijeme miruje, pri čemu dolazi do skidanja komada sa izvlačka. Nakon toga se i držač vraća u gornji položaj. Istovremeno zračni izbijač izbija komad iz prstena za izvlačenje.



Slika 5.50 Faze izvlačenja posude na presi

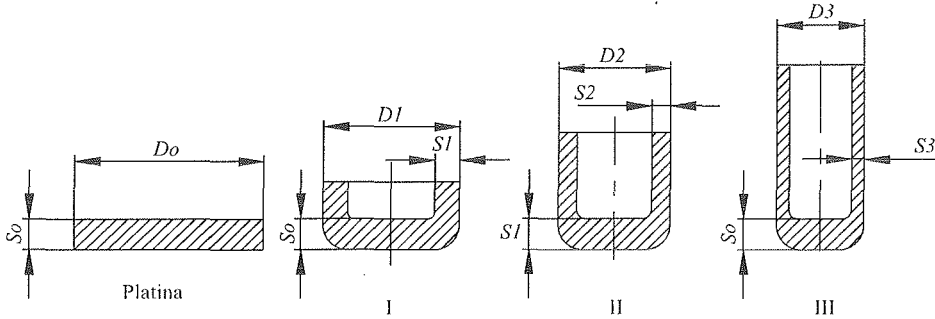
Dakle, sa slike možemo zaključiti da u toku jednog hoda prese (spuštanje i podizanje) dobijamo komad gotovog oblika. Ovo važi za posude male visine dok za posude veće visine izvlačenje se izvodi u više operacija a to iz razloga da ne bi nastupilo kidanje materijala. Broj operacija izvlačenja zavisi od odnosa visine i prečnika komada.

Izvlačenje sa redukcijom debljine materijala se primjenjuje kada je potrebno da dno komada bude deblje od zidova. To su uglavnom razne posude pod pritiskom, čahure i slično.

Početni oblik materijala je platina prečnika D_0 i debljine S_0 . U toku procesa izvlačenja vrše se istovremeno dvije deformacije i to:

- a/ deformacija po prečniku - redukcija prečnika i
- b/ deformacija po debljini zida - redukcija debljine zida.

Sa Slike (5.51.) se vidi da je početni oblik materijala (platina) prečnika D_0 i debljine S_0 . U prvoj operaciji se smanjuje prečnik a debljina ostaje ista. U sljedećim operacijama se prečnik smanjuje do vrijednosti D_3 a debljina do vrijednosti S_3 . Debljina dna (S_0) ostaje nepromijenjena.



Slika 5.51 Izvlačenje posude sa redukcijom debljine zida

Obzirom da se kod ovog načina prerade radi sa debljim materijalima, proces je nešto jednostavniji od prethodnog jer nepostoji opasnost od gužvanja materijala (platine).

5.4.3 ALATI ZA IZVLAČENJE

Iz do sada rečenog, možemo uočiti da svaki alat mora imati osnovne dijelove i to: izvlačač i kalup (prsten) za izvlačenje (Slika 5.49). Kod izvlačenja bez redukcije debljine zida koristi se i držač platine, dok kod izvlačenja sa redukcijom debljine materijala taj dio nije potreban što ove alate čini jednostavnijim.

Pri konstrukciji i izradi alata za izvlačenje potrebno se je pridržavati sljedećeg:

- koristiti što veći broj standardnih elemenata alata,
- konstrukcija alata zavisi od karakteristika mašine na kojoj će raditi,
- pravilno oblikovanje radnih elemenata alata,
- pravilno određivanje zazora i tolerancija radnih elemenata alata,
- izbor odgovarajućih materijala za elemente alata.

5.5 IZRADA CIJEVI

Cijevi služe za provođenje tečnih, gasovitih i čvrstih materijala. Međutim, danas sve veću primjenu nalaze kao konstruktivni elementi prilikom gradnje fabričkih i izložbenih hala, sportskih objekata, raznih krovnih konstrukcija, građevinskih i lučnih dizalica, građevinskih skela itd.

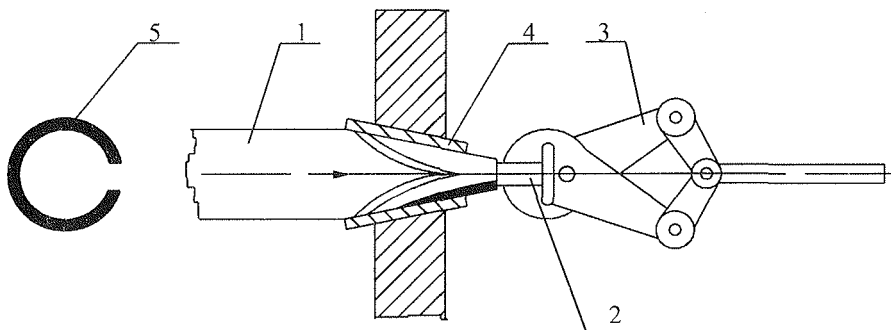
Osnovni oblik (profil) cijevi je okrugli, mada se rade cijevi i kvadratnog, pravougaonog ili drugog oblika.

Postupci izrade cijevi su različiti i prema načinu proizvodnje mogu biti:

- livene cijevi,
- šavne cijevi,
- bešavne cijevi.

Najznačajniji postupak proizvodnje cijevi livenjem je centrifugalno livenje koje smo već ranije upoznali.

Šavne cijevi - se izrađuju od čeličnih traka koje se savijaju po dužinskoj osi, pa se nakon toga na dodirnom mjestu zavaruju. Zavareno mjesto po dužini cijevi formira uzdužni šav. Na Slici 5.52 šematski je prikazan postupak formiranja šavne cijevi. Prednji kraj čelične trake (1) se savije oko posebnog klina (2) za koji se zavari. Klin prihvataju specijalna kliješta (3) koja vuče odgovarajući uređaj i provlači traku kroz kalibrirani otvor (4) pri čemu formira cijev (5). Dimenzije cijevi zavise od dimenzija trake koja se savija. Poslije savijanja i formiranja cijevi vrši se zavarivanje po spoju jednim od postupaka zavarivanja (elektrolučno, gasno, elektrotopno itd.).



Slika 5.52 Formiranje šavne cijevi

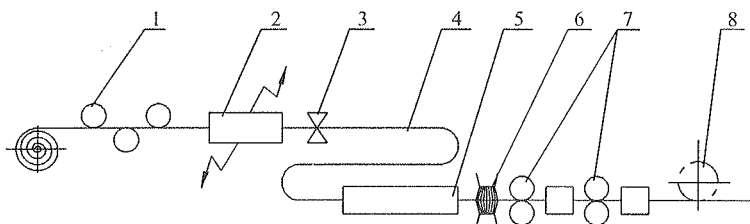
Postoji postupak proizvodnje cijevi sa šavom u obliku spirale koji je našao primjenu usavršavanjem postupaka zavarivanja. Prednost ovog postupka u odnosu na postupak dobijanja cijevi sa uzdužnim šavom je u malim investicionim ulaganjima, malom broju različitih vrsta traka jer se od jedne ili malo vrsta traka može izrađivati cijev bilo kog prečnika, a moguća je i proizvodnja cijevi tanjih zidova. Nedostaci su manja proizvodnost, velika dužina šava i zahtjev u pogledu jednakomjernosti trake.

Jedan od poznatijih postupaka proizvodnje vruće oblikovanih šavnih cijevi je tzv. Fretz-Moonov postupak (Slika 5.53). Traka se odvija sa koluta i ravna valjcima (1) a zatim u uređaju za tupo elektrotopno zavarivanje (2) zavaruje u beskonačnu traku (iz više traka koje dolaze jedna za drugom). Zavareni spoj čisti se uređajem (3) a traka preko uređaja za stvaranje petlje (4) vodi se u peć za zagrijavanje, odnosno komoru za predgrijavanje (5). Nakon izlaska trake iz komore plinski plamenici (6) zagrijavaju njene rubove, tako da rubovi postaju za oko 100°C zagrijaniji od srednjeg dijela trake. Traka dalje ide kroz valjaonički uređaj (7) sastavljen od više valjaoničkih stanova, gdje se oblikuje u cijev, zavaruje po dužini i reducira, a zatim se pilom (8) odsijeca na potrebnu dužinu. Odrezane cijevi se dalje odvođe u odjeljenje završnih radova (čišćenje, popravka, kontrola itd.).

Šavne cijevi se mogu proizvoditi i kao hladno oblikovane šavne cijevi. Ovdje su glavne dvije faze u oblikovanju i to:

- oblikovanje prorezane cijevi iz trake ili ploče i
- zavarivanje proreza u šavu.

Prije oblikovanja cijevi potrebno je obaviti pripremu trake ili lima, što zavisi od postupka oblikovanja cijevi i zavarivanja šava.



Slika 5.53 Šema oblikovanja vruće valjane šavne cijevi

Bešavne cijevi - se danas najviše proizvode od čelika, zatim od aluminijuma, bakra i njihovih legura. Za izradu kvalitetnijih cijevi potrebno je obezbijediti kvalitetan polazni materijal, koji mora imati visoku plastičnost, mora biti bez površinskih grešaka i metalnih uključaka. Polazni materijal je najčešće u obliku valjanih okruglih ili kvadratnih gredica, kao i ingota odgovarajućeg oblika.

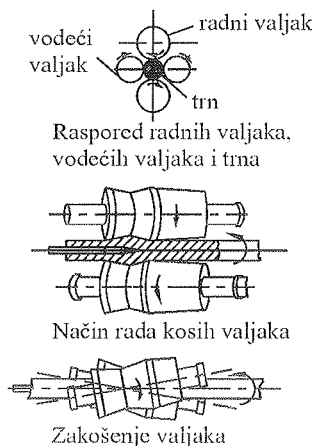
Postoji više postupaka za proizvodnju bešavnih cijevi, a prilikom svih tih postupaka neophodno je:

- proizvesti šuplje tijelo ili polufabrikat,
- valjanjem šupljeg tijela na specijalnim valjaoničkim stanovima dobiti sirovu cijev i
- reducirati sirovu cijev na cijev odgovarajućih prečnika i debljine zidova.

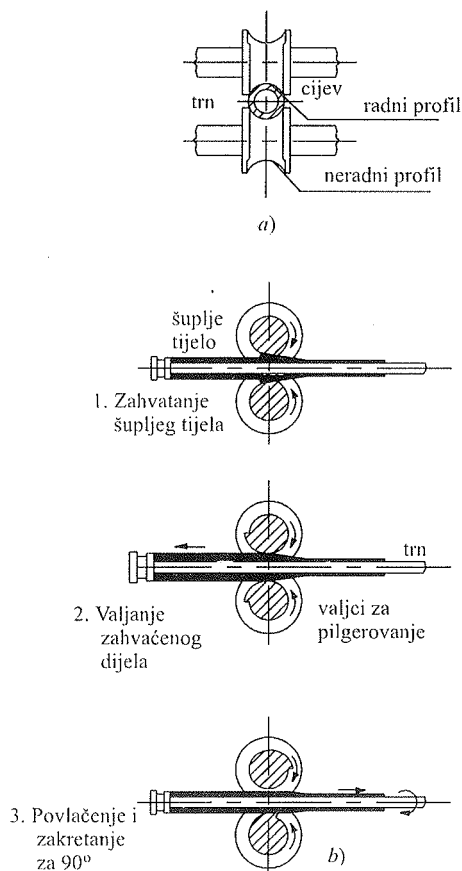
Proizvodnja šupljih polufabrikata vrši se na više načina i to:

- valjanjem na dvostruko koničnim valjcima, postupak po Mannesmanu,
- valjanjem na kosim valjcima po Stiefelu,
- probijanjem na mehaničkim ili hidrauličnim presama po Erhartu i dr.

Osnovni elementi uređaja za formiranje šupljeg tijela po Mannesmanovom postupku su dva dvostruko konusna valjka postavljena pod uglom od $3 - 14^{\circ}$, dva vodeća valjka i trn (Slika 5.54). Radni valjci se okreću u istom smjeru, a okrugli komad se kreće naprijed i okreće oko svoje ose. Pošto se vodeći valjci okreću u jednom, a radni u drugom smjeru to prouzrokuje pomjeranje vanjskih slojeva radnog komada. Posljedica ovog pomjeranja je drobljenje jezgra komada, što olakšava prodiranje trna kroz njegovu sredinu. Trn vrši pomjeranje čestica tijela ka obodu pa se tako formira šuplje tijelo debelih zidova. Ovako dobijena cijev ide na dalju prerađu kako bi se dobila cijev odgovarajućih dimenzija.



Slika 5.54 Valjanje cijevi po Mannesmanovom postupku



Slika 5.55 Valjanje bešavnih cijevi po Mannesman-Pilger postupku

završetka valjanja kompletnog šupljeg tijela. Na kraju se dobije sirova cijev manjeg prečnika, tanjih zidova i veće dužine. Unutrašnji prečnik ostaje nepromijenjen.

Za povećanje produktivnosti primjenjuje se kontinuirani postupak za valjanje šupljeg bloka. Kod ovog postupka se za valjanje koristi više valjaoničkih stanova sa kalibriranim valjcima, pri čemu je brzina valjanja veoma velika. Međutim praktična izvedba ovog uređaja nailazi na niz poteškoća pa se primjenjuje samo kad su veliki zahtjevi za velikom produktivnošću.

Dalja prerada odnosno **reduciranje sirovih bešavnih cijevi** nailazi na primjenu zbog velikih zahtjeva tržišta kako u pogledu asortimana, tako i u pogledu tolerancija odnosno tačnijih dimenzija cijevi. Vršiti se takođe na više načina, a najširu primjenu ima postupak reduciranja hladnim izvlačenjem. Prilikom hladnog izvlačenja cijev se, slično i kao prilikom izvlačenja u toplom stanju, vuče ili potiskuje kroz više vučnih prstenova, kod kojih se prečnik postepeno smanjuje.

Daljom preradom ovako formiranog šupljeg tijela dobijamo sirovu cijev.

Postoji više postupaka za dobijanje sirove cijevi, a jedan od njih je Mannesman-Pilgerov postupak ili valjanje korakom (Slika 5.55). Cilj ovog postupka je smanjenje prečnika cijevi i debljine zidova, kao i povećanje dužine cijevi. Proces se sastoji u propuštanju šupljeg bloka navučenog na trn kroz valjaonički stan sa kalibriranim valjcima (slika 5.55 a). Valjci imaju radni kalibar koji zauzima nešto više od polovine obima valjka i sastoji se iz dijela koji vrši izduživanje cijevi i dijela koji glača cijev. Ostali dio kalibra je neradni dio i njegov je prečnik nešto veći od prečnika šupljeg bloka. Sam proces izvođenja ovog postupka prikazan je na slici 5.55 b. Zagrijani šuplji blok se navlači na dugački cilindrični trn čiji je prečnik jednak unutrašnjem prečniku gotove cijevi i propušta se kroz kalibrirane valjke. Valjci zahvataju šuplje tijelo i vrši se valjanje onog dijela cijevi koji je zahvaćen radnim dijelom kalibra. Pri tome se tijelo zajedno sa trnom kreće nazad do nailaska proširenog (neradnog) dijela kalibra, kada se šuplje tijelo kreće naprijed za određeni korak, a istovremeno se pomoću posebnog uređaja zaokreće za 90° oko svoje ose radi ravnomjernijeg valjanja cijevi. Dalje slijedi proces kao na početku, tj. zahvatanje cijevi radnim valjcima itd. sve do

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Šta je izvlačenje i koji je cilj izvlačenja?
2. Koje su vrste dubokog izvlačenja?
3. Objasniti faze izvlačenja posude na presi.
4. Kakv je to postupak izvlačenja sa redukcijom debljine zida?
5. Čega se potrebno pridržavati pri izradi alata za izvlačenje?
6. Kakve mogu biti cijevi prema načinu proizvodnje?
7. Objasniti postupak formiranja šavne cijevi.
8. Navesti redoslijed proizvodnje bešavne cijevi.
9. Objasniti postupak valjanja bešavnih cijevi korakom.

6. ZAVARIVANJE I LEMLJENJE

6.1 ZAVARIVANJE

U zavisnosti od toga da li je sastavljene dijelove moguće razdvojiti bez razaranja ili ne, razlikujemo:

- razdvojive spojeve (spojevi ostvareni: vijcima, klinovima, oprugama),
- nerazdvojive spojeve (spojevi ostvareni: zakivanjem, zavarivanjem, lemljenjem, lijepljenjem).

Dakle, **zavarivanje** je jedan od načina spajanja dva ili više metalnih dijelova u jednu nerazdvojivu cjelinu sa ili bez dodatnog materijala.

Metalne dijelove koje treba spojiti zavarivanjem, treba postaviti dovoljno blizu jedan drugome ili sa izvjesnim preklopom da bi se , prije toga pripremljeni krajevi (površine), mogli spojiti u jednu cjelinu. U tom slučaju, spajanje zavarivanjem je moguće ostvariti topljenjem ili topljenjem i pritiskom.

Zavarivanje je, trenutno u svijetu, najzastupljeniji metod koji služi za spajanje (sastavljanje) dijelova. Procjenjuje se, da će se u narednom periodu oko 50% svjetske proizvodnje čelika, prerađivati zavarivanjem (procjena se odnosi na period do 2000. godine).

Pozitivne karakteristike zavarenih spojeva su:

- mogućnost međusobnog spajanja raznovrsnih dijelova (dijelova različitog oblika),
- velike su uštede u materijalu ako se spajanje vrši zavarivanjem (na primjer: uštede ostvarene zavarivanjem u odnosu na livenje kreću se i do 50% ako se želi dobiti isti konstrukcioni oblik),
- prilično je jeftin način rada,
- ne stvara se velika buka pri radu,
- moguće je i spajanje limova većih debljina itd.

Nedostaci zavarenih spojeva su:

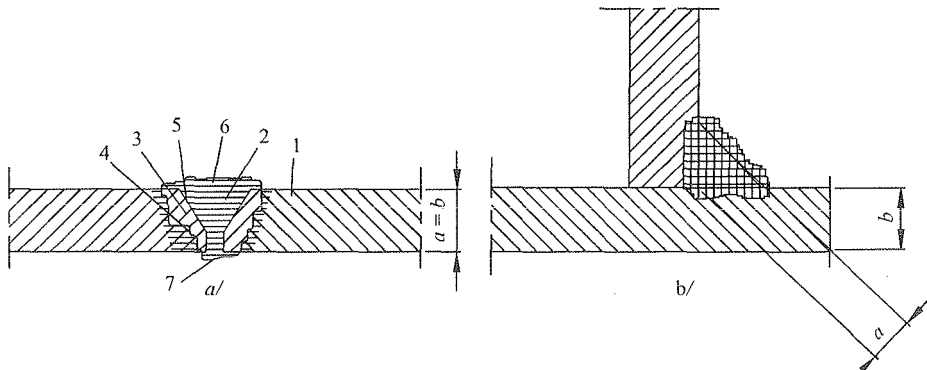
- kvalitet zavarenog spoja zavisi umnogome od zavarivača, elektrode, pripreme i dr.,
- pojavljuju se zaostali naponi,
- nejednaka je sposobnost materijala za zavarivanje,
- slabljenje mehaničkih osobina materijala na spojnom mjestu i drugo.

6.1.1 OSNOVNI POJMOVI IZ ZAVARIVANJA

U tehnici je od posebne važnosti precizno izražavanje, iz tog razloga, radi lakšeg razumijevanja između projekatanta i radnika potrebno je znati osnovne pojmove i njihovo značenje i u tehnici zavarivanja.

Pod pojmom zavarivanje podrazumijevaju se, zapravo, dva izraza i to: zavarivanje i navarivanje.

Definicija zavarivanja data je u uvodnoj rečenici. Navarivanje je nanošenje dodatnog materijala po određenoj površini topljenjem radi povećanja zapremine (volumena), ili radi zaštite od korozije.



Slika 6.1 Prikaz zavarenog spoja
 Gdje je: (1) - osnovni materijal; (2)- zavar; (3) - uvar ; (4) - prelazna zona;
 (5) - površina zavarivanja; (6)- tjeme zavara; (7)- korijen zavara.

Osnovni materijal je materijal koji se zavaruje odnosno materijal iz koga su napravljeni dijelovi koje treba spojiti zavarivanjem.

Dodatni materijal je materijal koji prije početka zavarivanja nije pripadao dijelovima koji se spajaju, nego se dodaje pri procesu zavarivanja. U dodatni materijal ubrajamo:

- metalne šipke, gole ili obložene specijalnom oblogom, odgovarajućeg sastava, određenih dimenzija (nazivaju se zajedničkim imenom - **elektrode**),
- žice, bilo u obliku šipki bilo namotane u koturove itd.

U dodatni materijal se još ubrajaju i različiti zaštitni gasovi, posebne vrste praškova, razne vrste topitelja, a koji ne učestvuju u formiranju šava, nego samo potpomažu njegovo definisanje.

Žlijeb je prostor između dijelova pripremljenih za zavarivanje. **Pripajanje** je pomoćno zavarivanje metalnih dijelova samo na pojedinim mjestima, u kratkim dužinama, u cilju pripreme zavarivanja.

Zavar je očvrnuti rastopljeni materijal nastao topljenjem osnovnog i dodatnog materijala, samo u jednom prolazu. Ako se govori o navarivanju onda je to navar. Zavar koji se prvi izvođa, naziva se korijeni zavar. On se polaže u korijenu žljeba. Ostali zavari se nazivaju **ispuna**.

Šav je očvrnuti rastopljeni metal, koji je nastao prilikom topljenja osnovnog i dodatnog materijala, pri zavarivanju u jednom ili više prolaza.

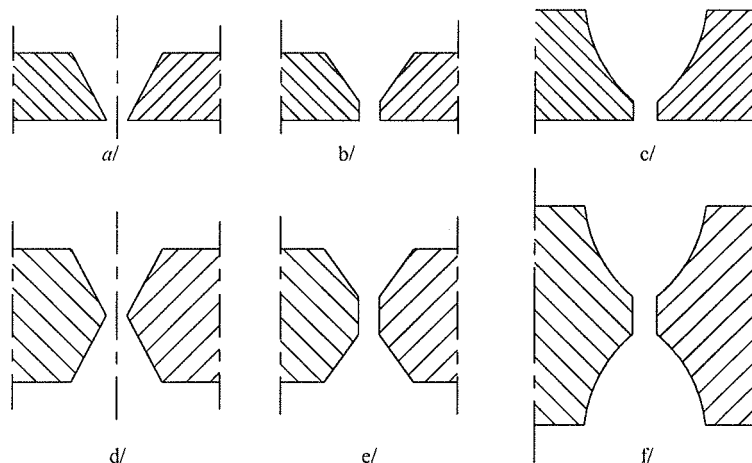
Treba napomenuti da se kvalifikovani radnik koji se bavi zavarivanjem naziva **zavarivač**.

Zavarljivost je sposobnost materijala da se može zavarivati. Veoma je važno znati, prije početka zavarivanja, da li osnovni materijal ima dobru ili lošu osobinu zavarivanja.

6.1.2 PRIPREMA OSNOVNOG MATERIJALA ZA ZAVARIVANJE

Jedan od osnovnih uslova za ostvarivanje kvalitetnog zavarenog spoja je i dobra priprema žlijeba. Ne može se govoriti o dobro izvedenom zavarenom spoju ako je priprema površina za zavarivanje loše izvedena. Dakle, da bi se mogao ostvariti zavareni spoj kako treba neophodna je kvalitetna priprema koja obuhvata:

- obradu ivica (površina) ili izradu žljeba,
- pripajanje ili pridržavanje prije ili u toku zavarivanja i
- određene radnje u smislu predeformisanja materijala (ukoliko je to potrebno).



Slika 6.2 Primjeri pripremanja žljeba za zavarivanje

Tabela T 11 Priprema spojeva za zavarivanje čelika

| Naziv spoja | Skica spoj | Debljina lima s (mm) | Otvor grla a (mm) |
|-------------|------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Prirubni | | 0,5 1,0 1,5 | 0 0 0 |
| Čeoni | | 0,5 1,0 2,0 3,0 4 - 5 | 1 1,5 2,5 3 3 - 4 |
| V - spoj | | 5,0 8,0 12,0 20,0 | 2 3 3,5 3 - 4 |
| X - spoj | | 12,0 15,0 20,0 | 1 1,5 2 |

Za izradu ivica odnosno žljebova postoji više različitih postupaka od koji su najznačajniji:

- mehanička obrada i
- termička obrada rezanja i žljebljenja.

Koji od ovih postupaka će se i kada primijeniti zavisi i od vrste materijala, što znači da je neophodno dobro poznavanje postupaka obrade kako bi se u datom trenutku izabrao najpovoljniji.

Najpoznatiji postupci mehaničke obrade žljeba su: rezanje makazama na principu noža ili diska, obrada na blanjatici, obrada na strugu ili pomoću specijalnih naprava, glodanje, brušenje i pneumatsko sječenje.

6.1.3 POSTUPCI ZAVARIVANJA I PODJELA

Trenutno se u praksi koristi popriličan broj postupaka zavarivanja. Podjela postupaka zavarivanjem moguća je na više načina. Obzirom da je toplota osnovni faktor za stvaranje zavarenog spoja, prirodna bi bila podjela zavarivanja prema izvorima toplotne energije. Ukoliko je toplota (temperatura) na mjestu zavarivanja dovoljno velika, tako da se nakon topljenja odnosno skrućivanja dva ili više osnovnih materijala vežu u jednu cjelinu takvo zavarivanje naziva se **zavarivanje topljenjem**.

Ukoliko je toplota nešto niža, tako da se spajanje ne može ostvariti topljenjem, u tom slučaju je zavarivanje moguće ostvariti međusobnim pritiskanjem dijelova. Takvo zavarivanje naziva se **zavarivanje pritiskom**.

Prema tome, obzirom na način spajanja, zavarivanje se dijeli u dvije grupe i to:

- zavarivanje topljenjem i
- zavarivanje pritiskom.

Kod postupaka zavarivanja topljenjem zajedničko za sve postupke je to, da se osnovni materijal na mjestu spoja topi, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala, koji se takođe topi.

Obzirom na način zagrijavanja spojnog mjesta, zavarivanje topljenjem se dijeli na:

- **gasno zavarivanje** (vrši se toplotnom energijom plamena podesnih smjesa gasova),
- **elektrolučno zavarivanje** (topljenje materijala vrši se toplotnom energijom električnog luka),
- **aluminotermijsko zavarivanje** (rastopljeni metal dobija se egzotermnom reakcijom između aluminija i oksida podesnog metala),
- **livačko zavarivanje** (topljenje materijala postiže se toplotom rastopljenog metala koji se lije na mjestu spoja i koji ujedno predstavlja dodatni materijal),
- **zavarivanje pod zaštitom praha ili zavarivanje pod troskom** (električni luk i mjesto spoja pokrivaju se zaštitnim prahom),
- **zavarivanje u vakuumu odnosno elektronskim snopom** (kinetička energija ubrzanih i fokusiranih elektrona pretvara se pri udaru o metal u toplotu, izazivajući topljenje materijala, proces se odvija u vakuumu da bi se omogućilo kretanje elektrona) itd.

Kod postupaka zavarivanja pritiskom zajedničko za sve postupke je to, da se osnovni materijal zagrije na mjestu spoja do omekšanog stanja, a zatim spajanje izvrši pritiskom ili djelstvom udara. Razlikujemo sljedeće postupke zavarivanja pritiskom:

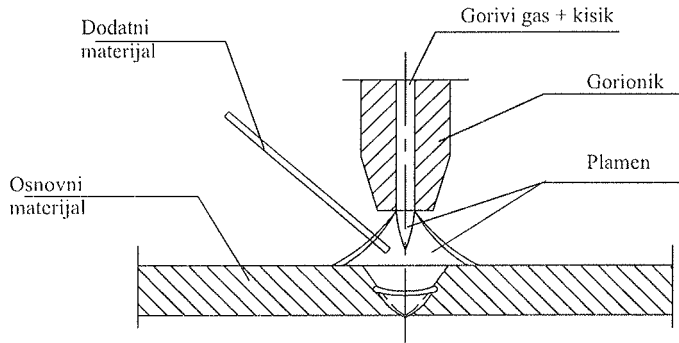
- **kovačko zavarivanje** (dijelovi se zagrijavaju u kovačkoj vatri ili peći, a proces zavarivanja obavlja se udarcima ili pritiskom),
- **elektrootporno zavarivanje** (dijelovi se zagrijavaju električnom strujom koja savladuje otpor na dodirnim površinama, a zavarivanje se vrši pritiskom),

- **zavarivanje trenjem** (dijelovi se zagriju toplotom trenja jedne obrtne površine o drugu nepomičnu površinu, a zavarivanje se vrši pritiskom),
- **indukciono zavarivanje** (dijelovi u području spoja zagrijavaju se indukovanom strujom i spajanje se vrši pritiskom),
- **zavarivanje ultrazvukom**,
- **zavarivanje eksplozijom** itd.

6.1.3.1 Gasno zavarivanje, princip, sredstva rada i primjena

Kod gasnog zavarivanja toplota potrebna za topljenje osnovnog i dodatnog materijala na mjestu spoja, ostvaruje se sagorijevanjem mješavine gorivog gasa i kisika. Gorivi gas i kisik dolaze izmiješani, u odgovarajućem odnosu, do izlaza iz specijalnog gorionika. Gorionikom se plamen usmjerava na mjesto spoja (žlijeba) tako da se na mjestu spoja topi osnovni materijal.

U zonu plamena dodaje se dodatni materijal u obliku šipki. Osnovni i dodatni materijal, usljed povećane temperature se tope, dolazi do međusobnog miješanja i nakon skrućivanja dolazi do formiranja šava.

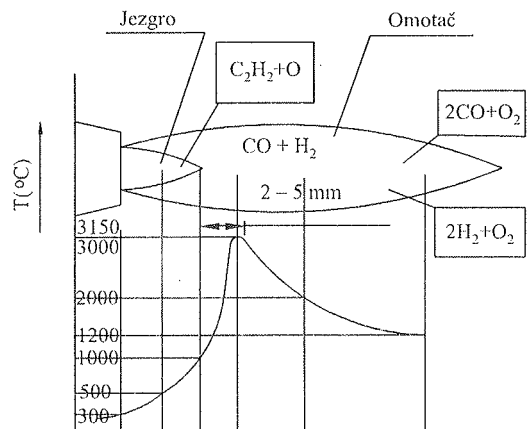


Slika 6.3 Šema gasnog postupka zavarivanja

Postupak gasnog zavarivanja u praksi je poznat pod nazivom **autogeni postupak zavarivanja**.

Kod gasnog zavarivanja kao gorivi gas najčešće se koristi acetylen (C_2H_2). Pored acetilena moguće je koristiti i druge gorive gasove kao što su: propan (C_3H_8), Butan (C_4H_{10}), etilen (C_2H_4) itd.

Plamen koji nastaje paljenjem i sagorijevanjem acetilena, uz pomoć kisika, naziva se oksiacetilenski plamen. Takav plamen se obrazuje na izlazu iz gorionika i sastoji se iz jezgra i omotača. Jezgro plamena je dio plamena u kome se vrši sagorijevanje smjese gasova dovedenih u gorionik. Ovo sagorijevanje naziva se pri-



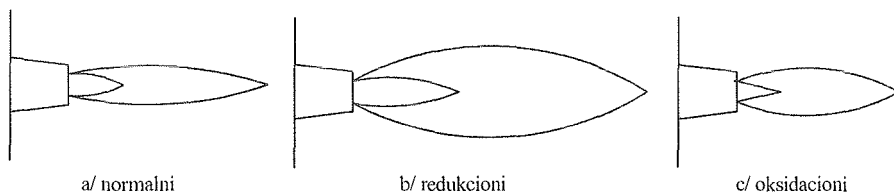
Slika 6.4 Temperatura plamena u funkciji udaljenosti od vrha gorionika

marnim sagorijevanjem, jer tu veći dio acetilena sagori na vrlo visokoj temperaturi. Najtoplije mjesto plamena nalazi se obično u neposrednoj blizini jezgra plamena. Omotač plamena je zapremina ispunjena sagorjelim gasovima u kojem se vrši sekundarno sagorijevanje (dogorijevanje) pomoću kisika iz vazduha.

U zavisnosti od odnosa potrošnje kisika i acetilena postoje tri vrste plamena za gasno zavarivanje i to:

- normalni, kod kojeg je odnos potrošnje kisika i acetilena iznosi od 1,0 do 1,1 ($O_2/C_2H_2 = 1,0 - 1,1$ ili $11/10$),
- redukcionni, kod kojeg je odnos potrošnje kisika i acetilena manji od 1,0 i
- oksidacioni, kod kojeg je ovaj odnos veći od 1,0.

Mogućnost regulacije plamena je jedna od prednosti ovog postupka zavarivanja u odnosu na ostale.



Slika 6.5 Vrste oksiacetilenskog plamena

Kisik - je gas koji potpomaže sagorijevanje. To je gas bez boje i mirisa. Isporučuje se, najčešće, komprimiran u čeličnim bocama pod pritiskom koji na temperaturi od $15^{\circ}C$ iznosi 150 (bar)-a.

Čist kisik je vrlo aktivan, tako da u kontaktu sa zapaljivim materijama dolazi do samozapaljenja tih materija. Zbog toga se strogo zabranjuje neposredni dodir masnih materija sa čistim kisikom. Sve ovo govori da je potrebno vrlo oprezno rukovati sa kisikom.

Boce za kisik podliježu posebnim propisima, koji garantuju vrlo veliku sigurnost prilikom upotrebe. Naravno, te propise treba poznavati kako bi se izbjegle sve eventualne teškoće, pa čak i nesreće. Između ostalog, zahtijeva se pažljivo rukovanje, bez jakih udaraca, izbjegavanje nenormalnog povećanja temperature itd. Kisik se dobija iz vazduha (zraka) tzv. industrijskim postupkom za potrebe gasnog zavarivanja.

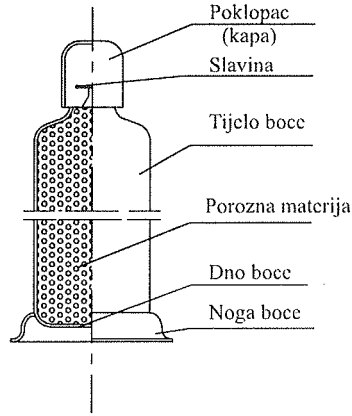
Acetilen - je gas bez boje, jakog mirisa. Proizvodnja acetilena je rezultat proizvodnje kalcijum-karbida, koji u dodiru sa vodom razvija acetilen. Poznato je više načina dobijanja acetilena iz kalcijum-karbida i to na principu:

- padanja kalcijum karbida u vodu,
- kapanja vode u kalcijum-karbid,
- relativnog pomjeranja mase vode i kalcijum-karbida itd.

Acetilen se obrazuje iz ugljika i vodonika uz veliko apsorbovanje toplote. Ova osobina acetilena je vrlo važna jer kao zapaljiv gas razvija vrlo visoku temperaturu pri sagorijevanju u oksiacetilenskom plamenu.

Pri povećanim pritiscima acetilen pokazuje izvjesnu nestabilnost, usljed čega se ne dopušta uskladištenje pod pritiskom većim od 1,5 (bar)-a. Zbog toga se acetilen isporučuje u čeličnim bocama ispunjenim poroznom masom (infuzorijskom zemljom), koja je natopljena acetonom. Rastvaranjem acetilena u acetonu omogućeno je skladištenje većih količina acetilena.

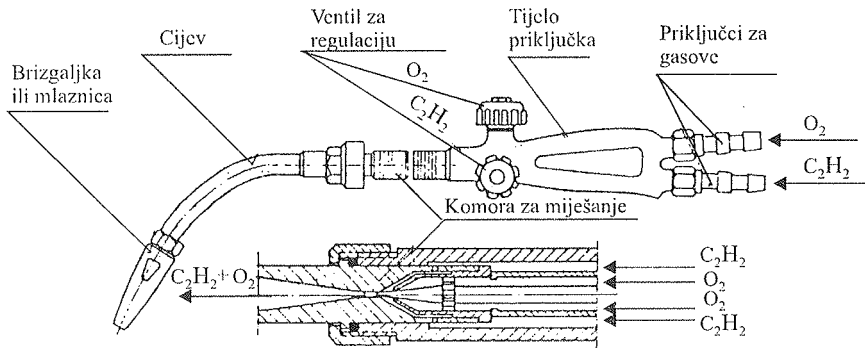
Boce za acetilen su, kao i boce za kisik, snabdjevene slavinom za isticanje, standardizovanog oblika, na koju se priključuje redukcionni ventil. Boce za acetilen podliježu strogim propisima za ispitivanje i rukovanje.



Slika 6.6 Bocu za rastvoren acetilen

Gorionik za zavarivanje - je zgodno konstruisan uređaj u kome je omogućeno miješanje acetilena i kisika, zatim sagorijevanje acetilena uz pomoć kisika i usmjeravanje plamena na mjesto spoja. Gorionici za gasno zavarivanje se sastoje iz sljedećih dijelova:

- tijela (rukohvata), na kojem se nalaze priključci za gasove, ventili za regulaciju protoka i komora za miješanje gasova,
- promjenjivih cijevi, standardizovanog prečnika, koje sprovode mješavinu gasova
- brizgaljke, određenog oblika i presjeka, za izlaz i sagorijevanje mješavine.



Injektor za regulaciju pomoću konusne igle

Slika 6.7 Gorionik za gasno zavarivanje

Prema veličini pritiska mješavine razlikuju se dvije vrste gorionika za gasno zavarivanje:

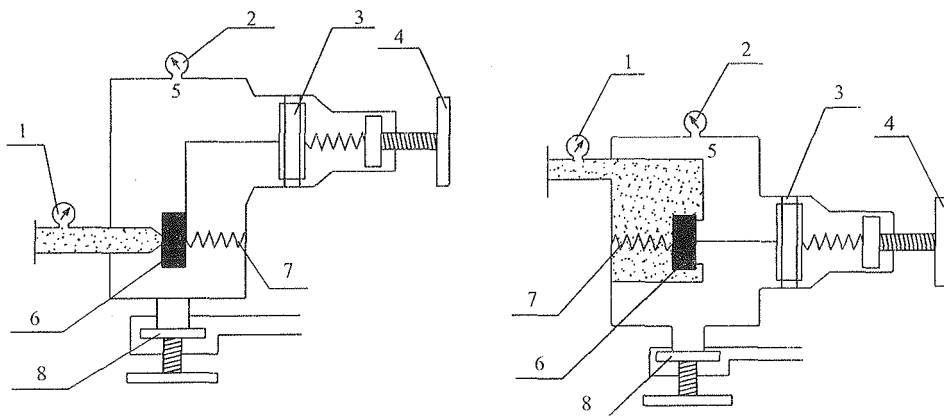
- gorionik niskog pritiska, kod kojeg je pritisak mješavine u brizgaljki viši od pritiska jednog od gasova koji dotiču u gorionik.

- gorionik visokog pritiska, kod kojeg je pritisak mješavine u brizgaljki niži od pritiska oba gasa.

Acetilen i kisik se do gorionika dovode **gumenim crijevima**. Za dovod kisika koristi se crijevo **plave boje**, a acetilena (inače svih gorivih gasova) crijevo **crvene boje**.

Obzirom, da se kisik i acetilen isporučuju u čeličnim bocama, pod određenim pritiskom, neophodna je oprema za redukciju tog pritiska na radni pritisak. Za redukciju pritiska najefikasniji su tzv. **redukциони ventili**, čiji se princip rada zasniva na uravnoteženju zatvarača između komore niskog i visokog pritiska. Prema položaju ovog zatvarača razlikujemo dva tipa redukcionih ventila:

- ventil sa zatvaračem u visokom pritisku (za kisik)
- ventil sa zatvaračem u niskom pritisku (za acetilen).



Slika 6.8 Šema redukcionih ventila za acetilen i kisik

(1) - manometar za visoki pritisak; (2) - manometar za niski pritisak; (3) - elastična membrana; (4) - vijak za redukciju; (5) - komora niskog pritiska; (6) - zatvarač; (7) - opruga zatvarača; (8) - slavina i izlaz gasa niskog pritiska.

Dodatni materijal - za gasno zavarivanje najčešće čine: žica, u obliku šipki standardnog prečnika i dužine, kao i razni topitelji.

U zavisnosti od mehaničkih i hemijskih osobina materijala vrši se odabir žice kao dodatnog materijala. Izbor prečnika žice zavisi od debljine osnovnog materijala.

Kvalitet dodatnog materijala ne bi smio biti lošiji od kvaliteta osnovnog materijala.

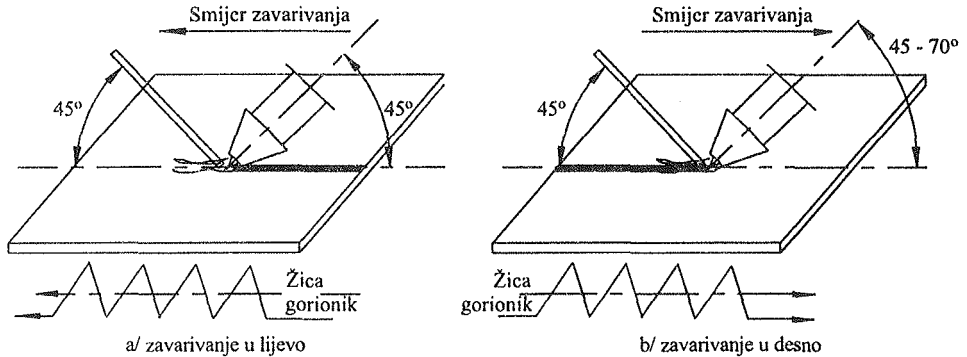
U procesu zavarivanja, nakon izvjesnog zagrijavanja osnovnog materijala na mjestu spoja, žica se dodaje u zonu plamena pod određenim uglom, topi se zajedno sa osnovnim materijalom i na taj način se vrši popunjavanje žlijeba. Pri procesu zavarivanja moraju biti zadovoljeni sljedeći uslovi: lagano topljenje i ne razvijanje gasova, zbog kojih bi moglo doći do rasprskavanja, ili napuhavanja, istopljenog metala.

Ukoliko se na površini metala nalazi oksidni sloj, postupak zavarivanja je znatno otežan. Neki od oksida imaju nižu tačku topljenja od osnovnog materijala, te prilikom zavarivanja ulaze u šav i tako smanjuju kvalitet zavarenog spoja. S druge strane visoka temperatura plamena pospješuje stvaranje oksida. Poznavajući naprijed navedene činjenice prilikom zavarivanja materijala, koji imaju sklonost prema stvaranju oksidnih slojeva, upotrebljavaju se **određeni topitelji**, koji će otopiti štetne okside i spriječiti stvaranje novih. Ovo je posebno važno naročito kod zavarivanja obojenih metala ka što su: aluminij, bakar itd. Topitelji imaju nižu tačku topljenja od osnovnog materijala, a i specifičnu masu, tako da se u toku procesa

zavarivanja izlučuju na površinu šava. Kasnije se otklanjaju jednostavno, mehaničkim putem. Topitelji se najčešće koriste u obliku praha ili paste.

Tehnika rada kod gasnog zavarivanja može biti dvojaka i to:

- zavarivanje u lijevo ili lijevi način zavarivanja,
- zavarivanje u desno ili desni način zavarivanja.



Slika 6.9 Načini gasnog zavarivanja

Kod zavarivanja u lijevo, smjer kretanja gorionika je s desna u lijevo. Pri tom je plamen usmjeren ispred rastopine. Žica se dodaje u zonu plamena lijevom rukom, ispred gorionika, dok se gorionik drži desnom rukom i ujedno lagano giba poprečno na spoj. Dodatna žica se vodi samo pravolinijski (Slika 6.9 a).

Kod zavarivanja u desno, gorionik se opet drži u desnoj, a dodatni materijal (žica) u lijevoj ruci. Sve ostalo je suprotno od zavarivanja u lijevo. Kretanje gorionika je s lijeva u desno, plamen je usmjeren na rastop, vođenje gorionika pravolinijsko, a žica se laganim gibanjem uvodi u zonu zavarivanja, iza gorionika (Slika 6.9 b).

Zavarivanje u lijevo se primjenjuje onda kada je potrebno smanjiti dovođenje toplote na mjesto spoja, naprimjer kod zavarivanja tankih limova itd.

Gasni postupak zavarivanja se može primjenjivati kod svih zavarljivih metala i legura: čelici, aluminij i njegove legure, bakar i njegove legure, sivi liv itd. Gasni postupak zavarivanja se najčešće primjenjuje za zavarivanje cijevi manjih prečnika i debljina, kao i za zavarivanje tankih limova, posebno od niskougličničkih čelika.

Positivne osobine gasnog zavarivanja ogledaju se i uslijedećem:

- u jednostavnom rukovanju,
- moguće je izvoditi zavarivanje u svim položajima (vertikalno, nadglavno itd.),
- jeftino i jednostavno održavanje itd.

Nedostaci gasnog zavarivanja su:

- nedovoljna zaštita istopljene mase osnovnog i dodatnog materijala,
- unošenje znatne količine toplote u zavareni spoj,
- proces zavarivanja je relativno spor,
- kvalitet zavarenog spoja u mnogome zavisi od zavarivača,
- obuka zavarivača je relativno duga,
- opasnost pri radu, obzirom na zapaljivost i eksplozivnost korištenih gasova itd.

6.1.3.2 Elektrolučno zavarivanje, princip rada, sredstva rada i primjena

Toplota koja nastaje pojavom električnog luka može se iskoristiti za lokalno topljenje osnovnog i dodatnog materijala, odnosno za zavarivanje. Zavarivanje sa takvim izvorom toplote naziva se elektrolučnim zavarivanjem.

Da bi se uopće mogao ostvariti električni luk potrebno je obezbijediti nekoliko preduslova. Prije svega, potreban je specijalni izvor električne struje, koji obezbjeđuje dovoljan napon i jačinu struje za uspostavljanje luka. Sa takvim izvorom električne struje potrebno je, pomoću odgovarajućih električnih kablova, izvršiti povezivanje osnovnog i dodatnog materijala. Kratkotrajnim dodiranjem između osnovnog i dodatnog materijala dolazi do zatvaranja strujnog kruga. Dodatni materijal se zatim odvoji od osnovnog materijala, toliko da ne dođe do prekida strujnog kruga. Pri tome vazdušni stub između osnovnog i dodatnog materijala postaje provodnik elektriciteta, odnosno mjesto formiranja električnog luka. U novoformiranom električnom luku se električna struja pretvara u toplotnu i svjetlosnu energiju usljed otpora vazdušnog stuba, koji se opire prolasku elektrona. Dobivena toplotna energija omogućava topljenje osnovnog i dodatnog materijala na mjestu spoja.

Uspostavljanje električnog luka moguće je ostvariti, ne samo između osnovnog i dodatnog materijala već i između dvije elektrode, od kojih jedna može biti topiva i slično.

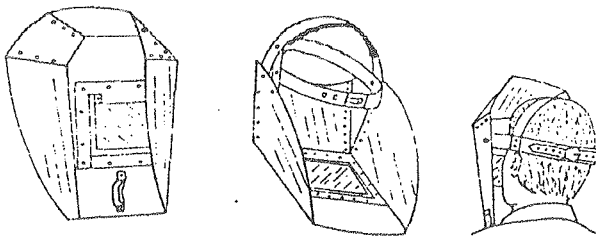
Izvori struje za elektrolučno zavarivanje. Za zavarivanje elektrolučnim postupkom može se koristiti i jednosmjerna i naizmjenična struja, jer je za potrebe elektrolučnog zavarivanja potreban maksimalni napon od 100 (V).

Da li će se koristiti jednosmjerna ili naizmjenična struja, zavisi od vrste dodatnog materijala kao i postupka zavarivanja.

Zbog toga je potrebno, za zavarivanje elektrolučnim postupkom, koristiti uređaje koji su sposobni prilagoditi napon i jačinu struje traženim uslovima. Pri smanjenju napona mora doći do povećanja jačine struje, što je za proces zavarivanja povoljno. Dakle, uređaji koji se koriste u procesu elektrolučnog zavarivanja moraju imati osiguranu mogućnost regulisanja jačine struje uslovima zavarivanja.

Pribor za zavarivanje. Obzirom da se, uspostavom električnog luka, električna energija pretvara u toplotnu i svjetlosnu odnosno da se svjetlosna energija manifestuje pojavom ultraljubičastih i infracrvenih zraka, zavarivači moraju posjedovati odgovarajuću zaštitu u cilju sprječavanja oštećenja očiju ili opekotina na koži.

Do sada se pokazala, kao najefikasniji metod zaštite očiju, upotreba zaštitne maske. Zaštitna maska je snabdjevena dvostrukim staklom, bijelim i tamnim, čiji je osnovni zadatak smanjenje intenziteta zračenja električnog luka na neškodljivu mjeru. Zaštitne maske mogu biti ručne i nadglavne.



Slika 6.10 Ručna i nadglavna zaštitna maska za zavarivanje

Za zaštitu ruku koriste se zaštitne kožne rukavice, dok se za zaštitu radnog odijela koriste kožne kecelje. Za zaštitu obuće (radnih cipela) koriste se, takođe, kožne prevlake, tzv. komašine.

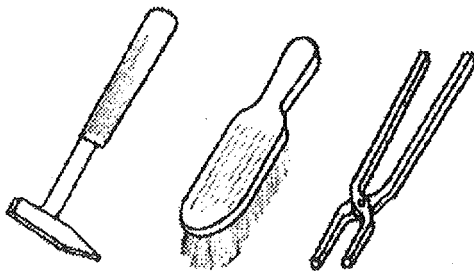
Obzirom da su elektrode, u ovom procesu, potrošan materijal to je izražen zahtjev za odgovarajućim držačima u kojima je omogućena lahka i brža zamjena istrošenih elektroda. Konstrukcija držača zavisi od vrste postupka zavarivanja, odnosno da li je kontinuiran dovod dodatnog materijala ili nije. Kao veza zavarivačkog kabla i osnovnog materijala koriste se posebno izrađene stezaljke. Zadatak stezaljki je da ostvare dobar kontakt, između zavarivačkog kabla i osnovnog materijala, kako bi se gubici električne struje sveli na minimum.

Pored nabrojanih vrsta pribora za elektrolučno zavarivanje potrebno je obezbijediti:

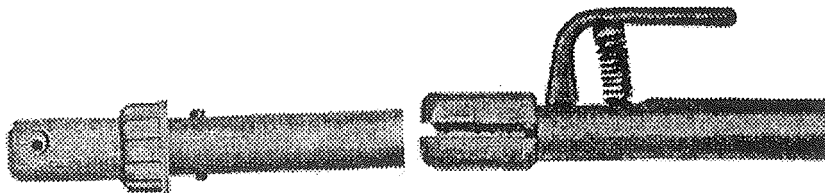
- zavarivački čekić, za čišćenje troske tj. otpatka pri procesu zavarivanja,
- čeličnu četku,
- kovačka kliješta.



Slika 6.11 Stezaljka za vezivanje zavarivačkog kabla i osnovnog materijala



Slika 6.12 Zavarivački čekić, čelična četka i kovačka kliješta



Slika 6.13 Navojni i opružni držač elektrode

Podjela elektrolučnog zavarivanja. Elektrolučno zavarivanje se, u zavisnosti od načina uspostavljanja električnog luka, može podijeliti u dvije grupe:

- zavarivanje ugljenom elektrodom,
- zavarivanje metalnom elektrodom.

Zavarivanje ugljenom elektrodom je zastario i prevaziđen postupak zavarivanja, pa zbog toga neće biti predmet daljih razmatranja.

Kod zavarivanja metalnom elektrodom, električni luk se uspostavlja između osnovnog materijala i elektrode, pri čemu elektroda može biti netopiva (kao što je volframova elektroda koja služi samo za uspostavu električnog luka, a ukoliko je potrebno dodatni materijal se u obliku žice dodaje na mjesto spajanja) i topiva elektroda.

U zavisnosti od atmosferskih uslova u kojima se vrši uspostava električnog luka razlikuju se sljedeći postupci zavarivanja metalnom elektrodom:

- zavarivanje u slobodnoj atmosferi (golom elektrodom, elektrodom sa jezgrom, obloženom elektrodom i položenim elektrodama),
- zavarivanje u zaštitnoj atmosferi (postupak atomiziranjem, u zaštiti gasa i u zaštiti praha).

Postupci zavarivanja golom i elektrodom sa jezgrom su stvar prošlosti, pa tokode, neće biti dalje razmatrani, dok se zavarivanje položenim elektrodama kod nas uopšte ne primjenjuje.

Zavarivanje obloženim elektrodama je najrašireniji postupak elektrolučnog zavarivanja. Zbog svojih ograničenja vrlo je nepodesan za automatizirano zavarivanje, pa se zbog toga najviše koristi za ručno zavarivanje.

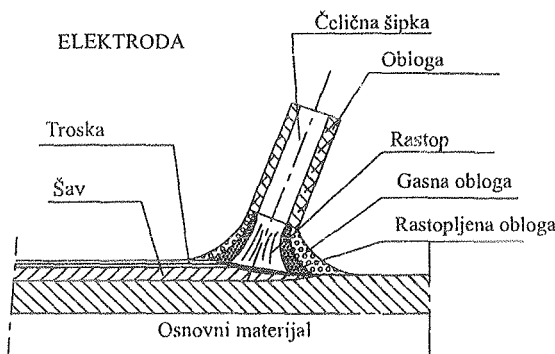
Kod ovog načina uspostavljanje električnog luka vrši se na sljedeći način:

- elektroda se preko držača i zavarivačkog kabla spaja sa električnim izvorom,
- osnovni materijal se preko stezaljke i zavarivačkog kabla spaja sa električnim izvorom.

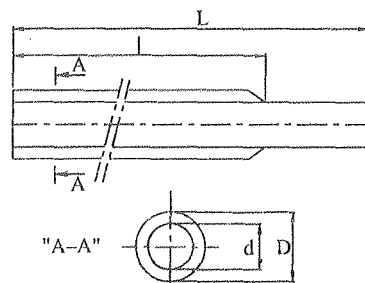
Kada dođe do uspostavljanja električnog luka, usljed povišenih temperatura na mjestu spoja, dolazi do otapanja elektrode i osnovnog materijala. Otopljeni dijelovi elektrode i osnovnog materijala se sjedinjuju i miješaju i nakon skrućivanja ostvaruju čvrsti spoj.

Dodatni materijal odnosno elektroda koja se koristi za ovaj postupak je obložena. Obloga se najčešće sastoji od: oksida, karbonata i ferolegura. Na jednom kraju elektrode ne nanosi se obloga (vrat elektrode), već taj kraj ostaje neobložen kako bi se moglo lakše i jednostavnije izvršiti pričvršćivanje elektrode za držač. Ostatak elektrode je obložen, i naziva se tijelo elektrode. Dakle, radnik koji vrši zavarivanje ima zadatak da stavi elektrodu u kliješta (držač), podese nagib elektrode (što zavisi od oblika, mjesta i položaja zavarivanja), zatim da podese dužinu električnog luka i brzinu zavarivanja. Iz svega rečenog, zaključak je relativno jasan, **kvalitet zavarenog spoja je u ogromnoj zavisnosti od uvježbanosti zavarivača.**

U procesu elektrolučnog zavarivanja elektroda služi i kao dodatni materijal a i za uspostavljanje električnog luka.



Slika 6.14 Šematski prikaz električnog luka i pratećih pojava



Slika 6.15 Izgled obložene elektrode

Obložene elektrode su sastavljene iz metalnog (unutrašnjeg) dijela-jezgre i obloge (spoljnog) dijela. Prilikom oblaganja elektrode, jedan kraj obično ostaje neobložen tako da je olakšano postavljanje elektrode u držač, a i električni kontakt elektrode sa držačem je mnogo bolji. Kvalitet zavarenog spoja uveliko zavisi od: postavljanja elektrode u držač, podešenosti nagiba, zatim dužine električnog luka i slično, a što direktno zavisi od zavarivača.

Prilikom uspostavljanja električnog luka, elektroda se topi. Do topljenja dolazi ne samo jezgre već i omotača (obloge) elektrode, tako da otopljena masa jezgre popunjava žlijeb osnovnog materijala a masa otopljene obloge štiti mjesto spoja od štetnog uticaja gasova iz atmosfere. Ukoliko bi izostala zaštita zavarenog spoja još dok je u tečnom stanju vrlo brzo bi došlo do nastajanja štetnih spojeva, kao što su oksidi, nitridi itd.

Prema tome, značaj obloge na elektrodi ogleda se u sljedećem:

- pri topljenju obloge troska koja se razljeva preko rastopa i štiti ga od uticaja gasova iz atmosfere,

- pojavom troske smanjuje se brzina hlađenja spoja, pa je iz tog razloga povoljnija kristalizacija šava, smanjuje se mogućnost nastajanja nepovoljnih struktura prilikom očvršćavanja - hlađenja,

- uz pomoć obloge moguće je izvršiti legiranje šava itd.

Obzirom da zavareni spoj ne bi smio imati mehaničke osobine slabije od osnovnog materijala, to znači da se za zavarivanje, na primjer niskolegiranih čelika koristi elektroda čija je jezgra izrađena od istog ili materijala čije mehaničke osobine nisu lošije od osnovnog materijala.

Obzirom na hemijski sastav obloge, odnosno karaktera nastale troske, razlikujemo sljedeće vrste elektroda:

- elektrode bazičnog tipa obloge,
- elektrode kiselog tipa obloge,
- elektrode neutralnog tipa obloge.

Koja će se elektroda koristiti, odnosno kakvog hemijskog sastava obloge, zatim kakvih mehaničkih osobina jezgre elektrode itd., zavisi od niza faktora. Najjednostavniji odgovor može se, gotovo uvijek, pronaći na ambalaži elektrode odnosno u uputstvima proizvođača.

6.1.3.3 Zavarivanje u zaštitnoj atmosferi aktivnog gasa MAG - postupak

MAG-postupak je jedan od načina elektrolučnog zavarivanja. Električni luk se, kao i kod ostalih elektrolučnih postupaka, uspostavlja između dodatnog materijala (elektrode koja je u obliku žice) i osnovnog materijala. Električni luk se uspostavlja u zaštitnoj atmosferi aktivnog gasa (Metal - Aktivni Gas). Kao aktivni gas najčešće se koristi ugljendioksid (CO_2), ili mješavina gasova u kojima je ugljendioksid dominantan, pa se iz tog razloga i ovaj postupak naziva **CO_2 postupak zavarivanja**.

Osobine zaštitnog gasa (ugljendioksida). Ugljendioksid je, na sobnoj temperaturi, neaktivan (inertan) gas. Međutim, na temperaturi uzrokovanoj pojavom električnog luka, ugljendioksid se razlaže na ugljenmonoksid (CO) i slobodni kisik (O). Obzirom da je atom kisika dvovalentan, novonastali atom kisika postaje vrlo aktivan i u stanju je da za vrlo kratko vrijeme oksidira zavareni spoj, prije svega željezo.

Obzirom da je to neželjena reakcija (moguća je pojava poroznosti zavarenog spoja, kao i druge manjkavosti), dodatni materijal - elektroda se legira hemijskim elementima koji imaju

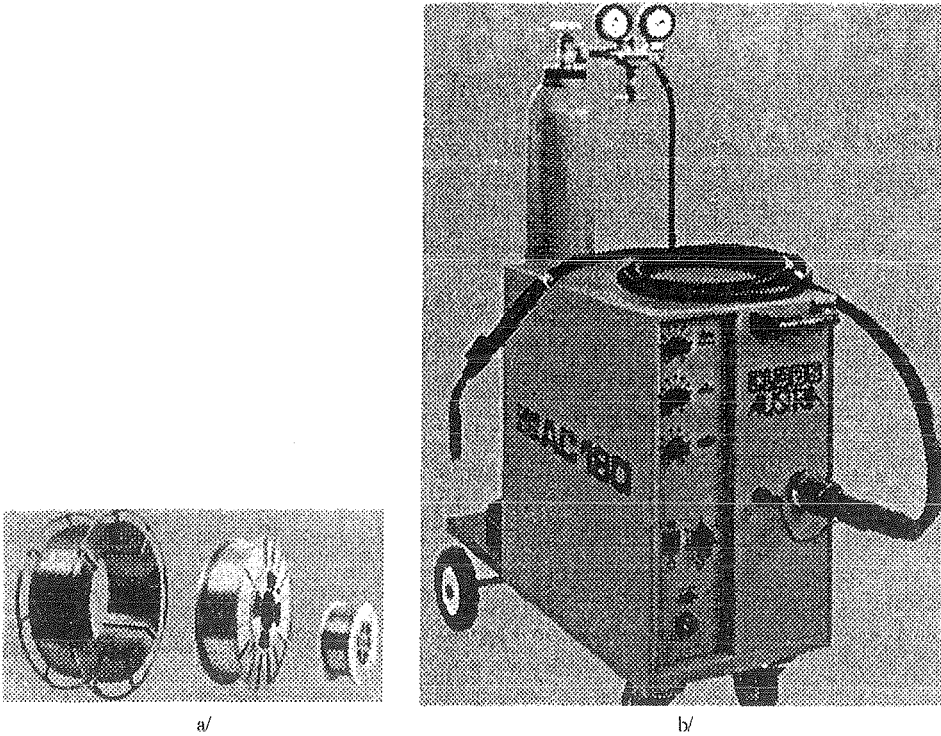
mного veći afinitet prema slobodnom atomarnom kisiku od željeza. Ti elementi su najčešće mangan i silicijum. Pod uticajem ovih elemenata kvalitet šava se uveliko poboljšava.

Nastali oksidni spojevi (SiO_2 i MnO_2) zbog manje specifične mase, isplivavaju na površinu šava.

Za novonastali ugljenmonoksid se pretpostavlja da na nižim temperaturama, koristeći kisik iz atmosfere ili kisik nastao razlaganjem ugljendioksida, ponovo prelazi u ugljendioksid oslobađajući pri tom veću količinu toplote.

Osim čistog ugljendioksida, za proces ovog postupka često se koriste i druge mješavine čiji su trgovački nazivi: ATAL, ARCOGEN, COXOGEN, KRISAL itd. I ugljendioksid se, kao i ostali gasovi za zavarivanje, najčešće isporučuje komprimiran u čeličnim bocama.

Kao **dodatni materijal - elektroda** koristi se žica, određenog kvaliteta i prečnika i moguće je koristiti za zavarivanje većeg broj kvaliteta osnovnog materijala. Sve ove žice, obzirom na konstrukciju, moraju sadržavati određene količine dezoksidanata (mangana i silicijuma) iz već naprijed rečenih razloga.



Slika 6.16 Elektroda i uređaj za MAG zavarivanje

Kotur namotan žicom (elektrodom) stavlja se u komandni ormarić, gdje se nalazi i mehanizam za dovoz žice, koja dalje prolazi kroz savitljivu cijev, do gorionika. Pomoću odgovarajućih ventila, koji se takođe nalaze u komandnom ormariću, te koristeći istu savitljivu cijev, u zonu zavarivanja se dovodi i zaštitni gas.

Sve je ovo poluautomatizovano, tako da je proces zavarivanja poprilično olakšan.

Prednosti MAG-postupka su sljedeće:

- kontinuiran je dovod elektrode, samim tim je i neprekidan proces rada pri zavarivanju,
- čišćenje troske je gotovo bespotrebno,
- prilično je povećana brzina zavarivanja,
- smanjen je utrošak dodatnog materijala, zbog korištenja nešto većih struja u procesu zavarivanja,
- moguće je izvršiti i određena automatiziranja procesa zavarivanja.

Negativnosti MAG-postupka su:

- uređaj za zavarivanje je poprilično komplikovan, vrlo je osjetljiv na kvarove,
- znatni su gubici usljed rasprskavanja materijala,
- komplikovana je obuka kadrova,
- nivo poznavanja postupka je često ne zadovoljavajući.

MAG postupak se primjenjuje za zavarivanje:

- niskougljeničnih čelika,
- niskolegiranih čelika,
- kotlovskih čelika (zatezne čvrstoće do 560 N/mm²),
- toplootpornih čelika itd.

6.1.3.4 Zavarivanje u zaštitnoj atmosferi inertnog gasa MIG - postupak

MIG - postupak je , još jedan od načina elektrolučnog zavarivanja, vrlo sličan MAG postupku, sa jedinom razlikom što se umjesto aktivnog koristi inertni gas. Dakle, uspostava električnog luka odvija se u zaštitnoj atmosferi inertnog gasa. Kao inertni gas koristi se argon, međutim u zemljama bogatim prirodnim izvorima helija moguća je upotreba i ovog gasa. Argon, ipak, ima određene prednosti u odnosu na helij koje se ogledaju u sljedećem:

- jeftinija je proizvodnja argona (dobija se iz vazduha) u odnosu na helij,
- specifična masa argona je za oko 10 puta veća od specifične mase helija, što ga čini efikasnijim zaštitnim sredstvom u procesu zavarivanja (električni luk je stabilniji) itd.

Kao što je već rečeno, argon se dobija iz vazduha sa procentom čistoće od 99,95%. Kao i prethodni gasovi, koji se koriste u procesu zavarivanja, i argon se najčešće isporučuje komprimiran u čeličnim bocama.

Tokom procesa zavarivanja dodatni materijal, žica namotana na kotur određenih dimenzija, se kontinuirano dovodi, i usljed povećane temperature topi i popunjava žljeb u osnovnom materijalu. Vrlo slično je i kod MAG postupka, tj. kotur žice smješten u komandnom ormariću se kroz savitljivo crijevo dovodi do gorionika, odnosno u zonu zavarivanja.

Osim dovoda dodatnog materijala i zaštitnog gasa i sama tehnika rada prilikom zavarivanja je vrlo slična MAG-postupku, pa i uređaj tj. komandni ormarić je sličan kao i kod MAG-postupka.

Postupak zavarivanja u zaštiti inertnog gasa, ili kako se u praksi naziva zavarivanje u zaštiti argona, je postupak zavarivanja koji se najčešće primjenjuje za zavarivanje aluminijuma.

Prilikom zavarivanja u zaštiti argona vrlo često se javljaju greške koje se manifestuju u povećanoj poroznosti materijala - šava. Ukoliko su pore prečnika od 0,4 do 0,6 mm, smatra se da nemaju neki značajniji negativni uticaj na zavareni spoj.

Ukoliko je poroznost zavarenog spoja veća od pomenutog prečnika, u tom slučaju treba računati sa izvjesnim oslabljenjem zavarenog spoja.

Najčešći uzroci poroznosti su:

- vlažnost i nečistoća osnovnog materijala,
- nedovoljna zaštita rastopa,
- prenizak napon električnog luka,
- pogrešan izbor prečnika žice - dodatnog materijala.

MIG postupak se primjenjuje još i za zavarivanje niskolegiranih i visokolegiranih čelika.

Positivne i negativne osobine zavarivanja u zaštitnoj atmosferi inertnog gasa su iste kao i kod zavarivanja u zaštitnoj atmosferi aktivnog gasa, uz dodatak da je cijena argona mnogo veća od cijene ugljendioksida.

6.1.4 ELEKTROOTPORNO ZAVARIVANJE

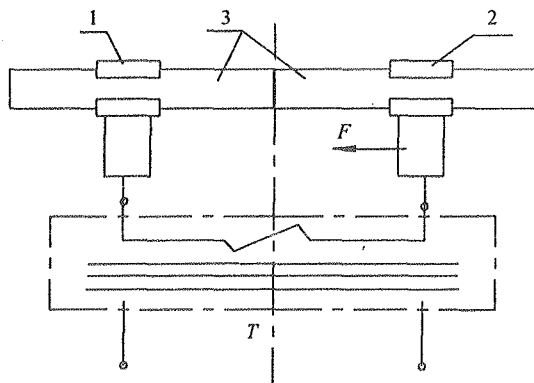
Poznato je, da se svaki provodnik električne struje zagrijava (više ili manje) prilikom prolaska električne struje kroz taj provodnik, srazmjerno električnom otporu. To znači, da se dati provodnik zagrijava tim više što je jačina struje veća. Ovakav princip električnog zagrijavanja iskorišten je u procesu zavarivanja metala. Način zavarivanja metala nastao lokalnim topljenjem osnovnog materijala uzrokovanom povećanom temperaturom na mjestu spoja usljed električnog otpora naziva se elektrootporno zavarivanje. Karakteristično je i to, da kod elektrootpornog zavarivanja, ne dolazi do uspostavljanja električnog luka.

Najčešće upotrebljavani postupci zavarivanja električnim otporom su:

- sučeono zavarivanje
- preklapno zavarivanje.

6.1.4.1 Sučeono elektrootporno zavarivanje

Sučeono elektrootporno zavarivanje svoj princip rada zasniva na stvaranju povišene temperature usljed električnog otpora i djelovanju sile pritiska. Ovakav postupak zavarivanja poznat je još i pod nazivima sučeono zavarivanje zbijanjem ili tupo zavarivanje.



Slika 6.17 Sučeono elektrootporno zavarivanje

Dijelovi koji se žele zavariti (3) (Slika 6.17) stavljaju se u odgovarajuće stezne čeljusti (1) i (2) i usljed pritiska, koji je moguće ostvariti preko steznih čeljusti, i električnog otpora koji se javlja na mjestu spajanja vrši se nasilno utiskivanje jednog kraja osnovnog materijala u drugi čime se zapravo ostvaruje proces spajanja ili sučeonog zavarivanja.

Za zavarivanje postupkom sučeonog elektrootpornog spajanja potreban je poseban transformator koji će visoki napon naizmjenične struje pretvoriti u struju niskog napona.

Ovakav način sučeonog elektrootpornog zavarivanja pogodan je za zavrivanje: šipkastih čeličnih materijala, raznih oblika fazonskih i profilnih komada, cijevi i slično.

Radi postizanja što efikasnijeg spajanja između dva komada osnovnog materijala potrebno je da dijelovi koji se spajaju imaju isti oblik i površinu poprečnog presjeka.

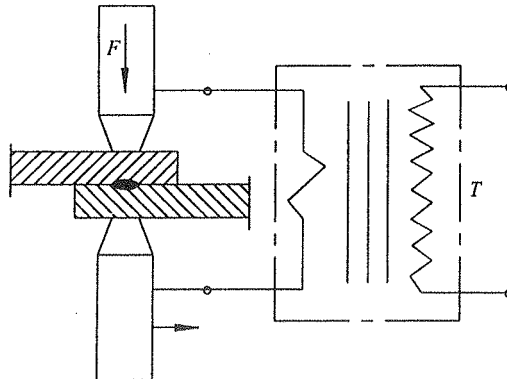
6.1.4.2 Preklopno elektrootporno zavarivanje

Kao što i samo ime kaže da bi se ostvario proces zavarivanja potrebno je izvršiti preklapanje osnovnog materijala i usljed električnog otpora, odnosno topljenja osnovnog materijala, izvršiti zavarivanje dva nezavisna komada osnovnog materijala.

Postoji više postupaka elektrootpornog preklopnog zavarivanja od kojih su u praksi najzastupljeniji:

- tačkasto zavarivanje,
- bradavičasto zavarivanje,
- šavno zavarivanje.

Tačkasto zavarivanje - ostvaruje se na taj način što se materijal koji se želi zavariti postavlja u tzv. preklopni spoj a zatim pomoću specijalno izrađenih elektroda izvrši pritiskivanje komada i uključi odgovarajući strujni napon. Pritisak se može ostvariti pomoću opruga ili posredstvom uljnog odnosno vazdušnog cilindra.



Slika 6.18 Šema tačkastog zavarivanja

Kao što se može vidjeti sa prethodne slike, uključivanjem izvora struje kroz elektrode i radni komad, protiče električna struja. Prolasku električne struje suprotstavlja se električni otpor, koji je najizraženiji na mjestu dodira komada koji se spajaju. Na tom mjestu dolazi do povećanog otpora odnosno do stvaranja temperature koja uzrokuje topljenje osnovnog materijala, te se usljed pritiska stvara zavareni spoj tačkastog oblika.

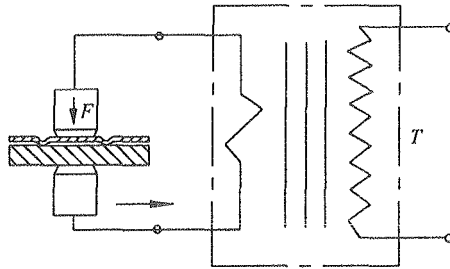
Za ostvarivanje tačkastog zavarivanja potrebno je poznavati sljedeće podatke:

- debljinu lima,
- prečnik elektrode,
- pritisak elektrode,
- jačinu struje zavarivanja,
- vrijeme prolaska struje.

Prema debljini materijala vrši se izbor debljine elektrode tako da je prečnik elektrode približno 3 do 5 puta veći od debljine osnovnog materijala.

Bradavičasto zavarivanje. Ovo zavarivanje vrlo je slično prethodnom. Razlika je u tome što se kod bradavičastog zavarivanja mora izvršiti prethodna priprema tj. mora se izvršiti ispušćenje jednog od materijala koji se zavaruju. Ispušćenje je u obliku bradavica po čemu je ovaj postupak i dobio ime. Razmak između bradavica mora biti najmanje 3 do 4 prečnika bradavice.

Elektrode su, za razliku od tačkastog zavarivanja, pločastog oblika kako bi se ostvarila veća površina nalijeganja (Slika 6.19)



Slika 6.19 Bradavičasto zavarivanje

Tokom prolaska električne struje, kroz elektrode i osnovni materijal, dolazi do najvećih otpora na ispuščenjima. Uslijed električnog otpora dolazi do usijanja odnosno topljenja bradavica koje djelovanjem sile pritiska vrše spajanje dva komada osnovnog materijala.

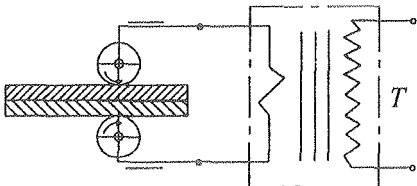
Bradavičasto zavarivanje ima niz prednosti u odnosu na tačkasto, kao što su:

- manja je potrošnja elektroda,
- broj i oblik spojeva može se po volji mijenjati,
- produktivnost je veća,
- moguće je zavarivanje i nečistijih površina izborom odgovarajućih parametara zavarivanja itd.

Postupak je posebno pogodan za zavarivanje tanjih limova.

Šavno zavarivanje. Šavno ili linijsko ili kolutno zavarivanje svoj princip rada zasniva na zavarivanju niza tačaka prilikom kretanja preklapljenih dijelova osnovnog materijala između elektroda koje su u obliku diskova (kolutova).

Elektrode (1) i (2) (Slika 6.20) su povezane sa transformatorom električne struje, okruglog su oblika, a silom kojom se na njih djeluje ostvaruje se potrebni radni pritisak.



Slika 6.20 Šavno ili linijsko elektrotoporno zavarivanje

Šavno zavarivanje omogućuje kontinuiran rad tokom procesa zavarivanja. Ova metoda je vrlo pogodna za zavarivanje tankih limova, s tim što te limove prije obrade treba dobro očistiti.

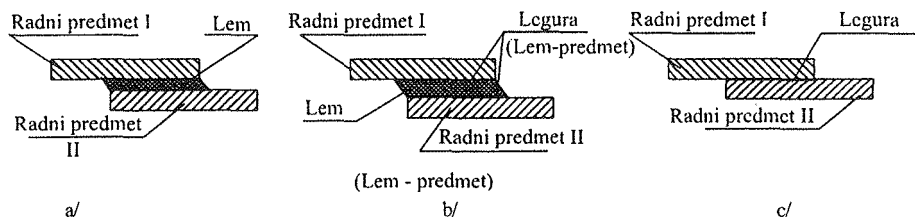
6.2 LEMLJENJE

Lemljenje predstavlja jedan od postupaka spajanja (sastavljanja) dva ili više metalnih dijelova. Lemljeni spojevi spadaju u kategoriju čvrstih-nerazdvojivih spojeva, jer nakon lemljenja spojeni dijelovi ostaju čvrsto vezani.

Princip rada kod lemljenja je vrlo sličan principu rada kod zavarivanja. Dijelovi koji se leme mogu biti od istog ili različitog materijala.

Spajanje dva, ista ili različita materijala, vrši se zagrijavanjem dodatnog materijala, čija je tačka topljenja niža od tačke topljenja materijala koji se spajaju. Dodatni materijal - lem predstavlja leguru, koja se lahko topi i hvata za površine metalnih dijelova i poslije hlađenja i stvrdnjavanja spaja ove dijelove.

Kod lemljenja je potrebno obezbijediti znatno nižu temperaturu (relativno je niska tačka topljenja lema) nego kod zavarivanja pa je ovaj postupak i znatno jeftiniji od zavarivanja.



6.21 Procesi pri lemljenju

Lemljenje, kao postupak spajanja dijelova, primjenjuje se onda kada je spajanje drugim postupcima otežano, zatim kada se ne zahtijevaju velike mehaničke osobine spojeva, kada je potrebno spojiti dva raznorodna materijala (na primjer: čelik - aluminijum, bakar - aluminijum itd.).

Pri lemljenju, zazor između dijelova koji se spajaju treba da iznosi od 0,05 do 0,15 mm, dok se pri lemljenju velikih dijelova dopušta se zazor i do 0,25 mm.

6.2.1 VRSTE LEMA

U zavisnosti od upotrijebljene temperature, lemove je moguće svrstati u dvije skupine i to:

- mehke lemove, gdje je temperatura topljenja ispod 450°C i
- tvrde lemove, gdje je temperatura topljenja iznad 450°C a najviše 1200°C.

Mehki lemovi - su najčešće legure kalaja i olova sa malim dodacima drugih metala. Odnos kalaja i olova varira, pa se mogu pronaći mehki lemovi rađeni samo na bazi olova ili samo na bazi kalaja, a postoje i takvi lemovi koji su i bez olova i bez kalaja (Na primjer LCdZn₁₇).

Za lemljenje dijelova osjetljivih na toplotu, postoje lemovi sa prilično niskom tačkom topljenja kao što su: Wood - metal sa tačkom topljenja od 60°C ili Roses - metal sa tačkom topljenja od 90°C.

Za lemljenje aluminijuma i aluminijumskih legura upotrebljavaju se legure: kalaja, cinka, kadmijuma, kadmijuma i cinka itd.

Mehki lemovi se upotrebljavaju počevši od lemljenja opštih i grubih dijelova do lemljenja medicinskih predmeta, finih prevlaka metala itd. Mehkim lemljenjem moguće je izvršiti spajanje gotovo svih metala, kao što su: gvožđe, bakar, mesing, bronza, olovo itd.

Zbog niske radne temperature mehko lemljenje je jeftinije od tvrdog lemljenja.

Tvrđi lemovi - se primjenjuju, za spajanje metalnih dijelova, kada se veza ne može ostvariti mehkim lemljenjem i onda kada su zahtjevi za povećanom otpornošću na dinamička opterećenja.

Tvrđi lemovi se, u pogledu svog sastava, mogu podijeliti na tri kategorije:

- bakreni lemovi, na bazi bakra ili legura bakra,
- srebrni lemovi, na bazi srebra i
- aluminijски lemovi, na bazi aluminijuma.

Bakreni lemovi se često upotrebljavaju za lemljenje čelika, gvožđa i uopće teškotopivih metala. Temperatura topljenja lema kreće se od 850 do 1200°C, što zavisi od procentualnog učešća bakra u lemu. Što je veći procenat bakra veća je i temperatura topljenja.

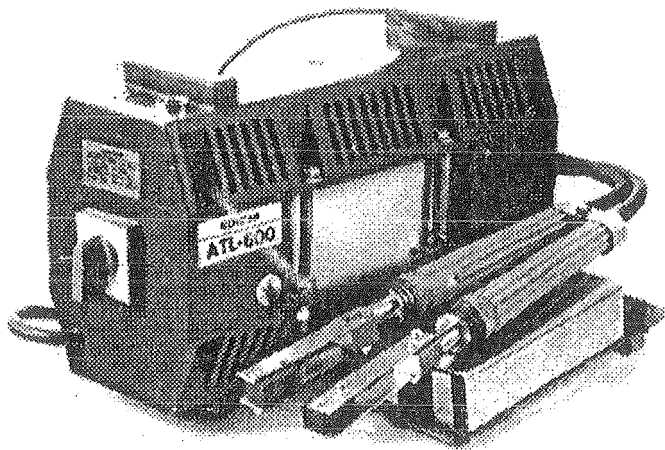
Srebrni lemovi su mnogo bolji lemovi od leмова na bazi bakra. Njegove prednosti ogledaju se u sljedećem: mala dorada lemljene površine, univerzalna i lahka upotreba, velika čvrstoća lemljenih spojeva, dobra antikoroziivnost itd.

Zbog svega ovoga, srebrni lemovi se koriste u automatiziranoj i masovnoj industrijskoj proizvodnji.

Srebrni lemovi se najčešće isporučuju u obliku šipki, žice i dr.

Aluminijски lemovi su rjeđe upotrebljavani lemovi. Radna temperatura im se kreće oko 600°C. Aluminijски lemovi se, takođe proizvode u obliku žice i limova.

Treba napomenuti, da se u novije vrijeme na tržištu pojavljuju i lemovi za lemljenje ne samo metala već i za lemljenje metala i nemetala. Tako je već moguće zalemiti neki od metala sa staklom ili keramikom.



Slika 6.22 Aparat za tvrđo lemljenje

6.2.2 USLOVI ZA NASTAJANJE KVALITETNOG SPOJA

Da bi se uspjelo u sastavljanju dijelova lemljenjem potrebno je izvršiti kvalitetnu pripremu površina za lemljenje, te izabrati odgovarajući lem, uzevši u obzir tražene uslove.

Danas je u upotrebi veliki broj različitih sredstava za čišćenje i pripremu površina za lemljenje.

Svi oni treba da ispunjavaju sljedeće uslove:

- da odstrane oksidni tanki sloj sa površina materijala,
- da spriječe ponovno stvaranje takvog sloja, sve do operacije lemljenja i
- da, što je moguće više pospješe prijanjanje lema za osnovni materijal

Ova sredstva mogu biti: paste za lemljenje, kolofonijum, boraks ili borna kiselina, ulja za lemljenje itd.

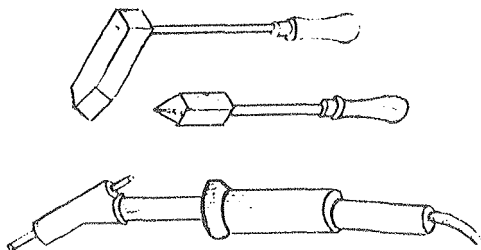
Ukoliko su prethodni uslovi ispunjeni te izabran adekvatan lem, ispunjeni su minimalni uslovi za nastanak kvalitetnog lemljenog spoja. Normalno, čovjek kao nezaobilazan faktor, odgovoran je za finaliziranje lemljenja.

Obzirom na vrstu lemljenja i debljinu materijala za lemljenje izabira se i način zagrijavanja.

Za meko lemljenje proces zagrijavanja se najčešće izvodi indirektnim putem, tj. direktno zagrijavanje lemnika ili drugih uređaja kojima se vrši lemljenje.

Za tvrdo lemljenje proces zagrijavanja se može izvesti na jedan od sljedećih načina:

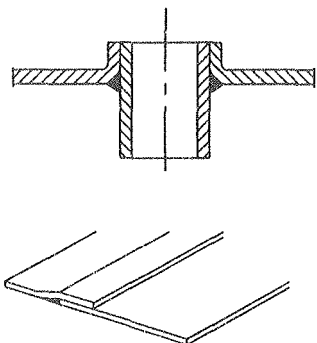
- zagrijavanje plamenom koji se koristi i za gasno zavarivanje,
- zagrijavanje benzinskom lampom (tzv. let-lampom), elektrootporno zagrijavanje (ovim postupkom se najčešće vrši lemljenje pločice tvrdog metala za nosač noža-alata za rezanje) itd.



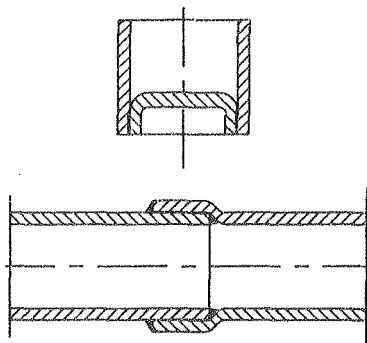
Slika 6.23 Lemnici za mehko lemljenje

6.2.3 POSTUPAK IZVOĐENJA LEMLJENJA

Kao što je već i naprijed rečeno prije lemljenja površine koje se leme treba dobro očistiti. Nakon čišćenja površina treba premazati sredstvom koje pospješuje lemljenje. Način pripremanja komada za lemljenje u mnogome zavisi od njegovog konstrukcionog izgleda.



Slika 6.24 Primjeri sastavaka za mehko lemljenje



Slika 6.25 Primjeri sastavaka za tvrdo lemljenje

U procesu rada lemnik treba voditi polahko konstantnom brzinom po dužini sastavka. Po potrebi dodavati dodatni materijal-lem. Lem treba da se razlijeva ravnomjerno između dodirnih površina spoja, koji mora ostati nepomičan sve dok ne očvrstne.

Nakon završetka lemljenja neophodno je spoj očistiti od zaostalih zaštitnih sredstava.

Kontrola zalemljenih površina vrši se u skladu sa traženim zahtjevima i tehničkim uslovima za izradu.

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Šta je to zavarivanje?
2. Nabrojati pozitivne osobine zavarenih spojeva.
3. Nabrojati nedostatke zavarenih spojeva.
4. Šta je to zavar a šta šav?
5. Nabrojati postupke zavarivanja topljenjem.
6. Nabrojati postupke zavarivanja pritiskom.
7. Objasniti princip gasnog zavarivanja.
8. Nabrojati pozitivne i negativne karakteristike gasnog zavarivanja.
9. Objasniti princip elektrolučnog zavarivanja.
10. Nabrojati vrste elektroda, obzirom na hemijski sastav kod elektrolučnog zavarivanja.
11. Gdje se i kada primjenjuje CO₂ postupak?
12. Koje su prednosti MAG-postupka?
13. Objasniti princip rada MIG-postupka.
14. Objasniti elektrootporno zavarivanje.
15. U čemu se razlikuje bradavičasto od tačkastog zavarivanja?
16. Kada se primjenjuje lemljenje, kao jedan od načina spajanja?
17. U čemu je razlika između mehkog i tvrdog lemljenja?
18. Koji se uslovi moraju zadovoljiti da bi moglo doći do nastajanja kvalitetnog spoja kod lemljenja?

7. TERMIČKA I TERMOHEMIJSKA OBRADA

Zagrijavanjem ili hlađenjem metala do određene temperature dolazi do promjena u strukturi metala. Obzirom da je struktura metala u direktnoj vezi sa mehaničkim, pa i drugim, osobinama, to znači da je kontrolisanom promjenom strukture metala moguće vršiti kontrolisane promjene osobina metala, prije svega mehaničkih.

Kontrolisana promjena strukture metala, pod uticajem temperature, zagrijavanje - hlađenje, naziva se **termička obrada**.

Obzirom da su legure željeza i ugljika jedne od najzastupljenijih u tehničkoj praksi odnosno da se termička obrada u većini slučajeva primjenjuje na ovim legurama, slijedi da je poznavanje strukture legura željezo - ugljik posebno značajno za pravilnu primjenu termičke i termohemijske obrade.

7.1 STRUKTURA ČELIKA I GVOŽĐA U RAVNOTEŽNOM DIJAGRAMU STANJA ŽELJEZO - UGLJIK

Hemijski element željezo (Fe), sa specifičnom masom od 7850 kg/m^3 i tačkom topljenja 1539°C , u svojoj čistoj formi nije za tehničku upotrebu, međutim legirano sa ugljikom, ili nekim drugim elementom, znatno mijenja svoje tehničke karakteristike, koje se prije svega manifestiraju u znatno povećanim mehaničkim osobinama.

Ugljik se u željezu može pojavljivati u dva oblika i to:

- u obliku elementarnog ugljika C (grafita) i
- u obliku hemijskog jedinjenja Fe_3C (cementita).

Željezo sa procentom ugljika do 2% naziva se čelik, dok se željezo sa procentom ugljika iznad 2% naziva gvožđe. To znači da strukturu čelika određuje sadržaj ugljika.

Od čelika se proizvodi mogu dobiti: valjanjem, kovanjem ili livenjem, a od gvožđa livenjem. Iz ovoga se vidi da čelik mora posjedovati osobine elastičnosti, plastičnosti itd., dok su gvožđa krhla i ne daju se deformisati drugačije osim livenjem.

Jedinjenje Fe-C je stabilno jedinjenje, stabilni sistem, a sistem Fe- Fe_3C je nestabilno jedinjenje ili metastabilni sistem. Metastabilni sistem se manifestuje pojavom različitih tipova kristalne rešetke tokom procesa očvršćavanja. Za termičku obradu čelika dolazi u obzir samo metastabilni sistem (željezo - cementit).

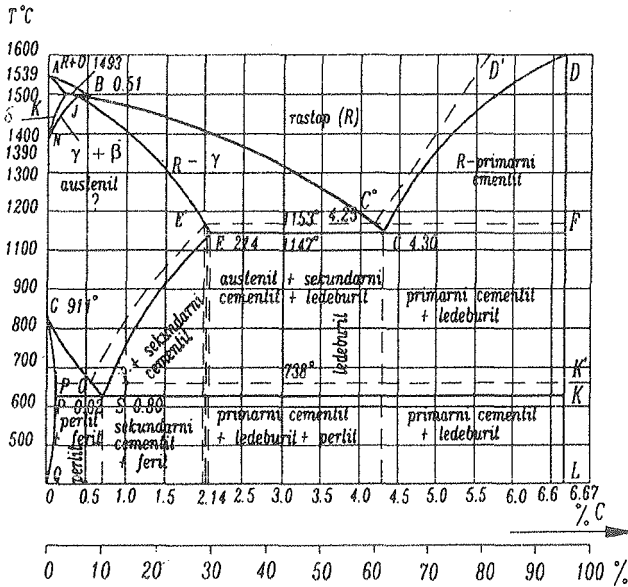
Na ravnotežnom dijagramu stanja željezo - ugljik metastabilni sistem prikazan je punom linijom, dok je stabilni sistem prikazan isprekidanom linijom. U dijagramu ravnotežnih stanja legura željezo-ugljik na ordinatu je nanešena temperatura (u $^\circ\text{C}$), a na apscisu % ugljika u željezu.

U području dijagrama iznad linije A—B—C—D sve legure bilo kog sastava nalaze se u tačnom stanju a linija se naziva **likvidus linija**. Hlađenjem rastopa ispod ove linije počinje stvaranje čvrstih kristala koje se završava na liniji definisanoj tačkama A—H—J—E—C—F.

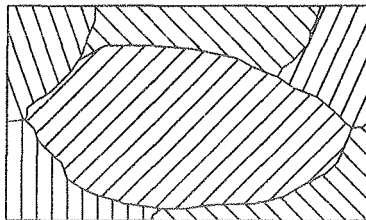
Ova linija se naziva **solidus linija**. U području između ove dvije linije legure se nalaze u tjestastom stanju

Obzirom da nas zanima metastabilno područje u kome sadržaj ugljika ne prelazi 2%C odnosno područje čelika, dalje razmatranje dijagrama svodi se samo na detaljnije upoznavanje tog područja.

Osnovna komponenta u legurama željezo - ugljik je željezo, koje na sobnoj temperaturi ima vrlo nisku rastvorljivost ugljika - to je tehničko željezo. Kristalna struktura tehničkog željeza je prostorno centrirana kubna rešetka (α - željezo). Željezo kod sobne temperature rastvara svega 0,006% ugljika (tačka Q na dijagramu). Maksimalna rastvorljivost ugljika u α - rešetki iznosi 0,025% (tačka P na dijagramu). Ukoliko se u leguri željeza, na sobnoj temperaturi, nalazi do 0,006% C, višak ugljika se pojavljuje u vidu tercijarnog cementita (Fe_3C). Međutim, ukoliko željezo na sobnoj temperaturi sadrži više od 0,006% C, utoliko će kristalna struktura legure više sadržavati cementita a manje ferita. Ako legure željezo - ugljik u svojoj strukturi imaju %C između 0,025 i 0,8 onda se tu pojavljuje novi strukturni sastojak - perlit (koji se sastoji od ferita + cementita). Perlit ima lamelarnu strukturu (Slika 7.2).



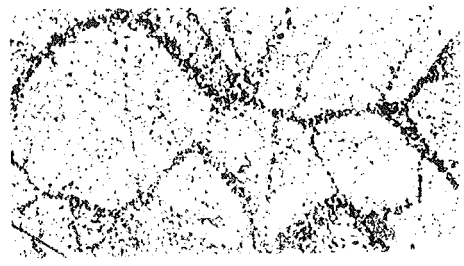
Slika 7.1 Ravnotežni dijagram Fe - Fe_3C i Fe - C



Slika 7.2 Kristalna struktura perlita višestruko iverčana



a/ ferit + austenit



b/ austenit

Slika 7.3 Izgled - strukture nekih ugljičnih čelika

Sadržaj perlita u strukturi ugljičnih čelika zavisi od procenta ugljika u tim čelicima. Koliko se procenat ugljika, na sobnoj temperaturi, približava 0,8% toliko će više perlita biti u strukturi tog čelika. Čelik sa 0,8%C ima čistu perlitnu strukturu, 100% perlita. U čelicima koji sadrže od 0,8 do 2%C sa povećanjem sadržaja ugljika smanjuje se količina perlita, a povećava količina cementita.

Sve navedene strukture čelika na sobnoj temperaturi nastale su iz austenita pri hlađenju čelika ispod njegove kritične temperature, koja za svaki čelik odgovara tački S na liniji G – S – E ravnotežnog dijagrama.

Strukturu željeza i ugljika (omeđenu tačkama N – J – E – S – G na ravnotežnom dijagramu) nazivamo austenit. Austenit je na nižim temperaturama zasićen željezom (po liniji G–S) odnosno cementitom (po liniji S–E). Najniža temperaturna tačka je 727 °C, na kojoj je austenit još postojan.

Struktura čelika, o kojoj je bilo govora uglavnom nastaje pri normalnim uslovima hlađenja do sobne temperature. Međutim, ako se čelik zagrije do temperature koja omogućava nastajanje austenita, a zatim naglo hladi nastaje strukture čelika čije se osobine znatno razlikuju od prethodnih. Te osobine se ogledaju u znatno povećanoj tvrdoći i čvrstoći čelika.

Najpoznatiji predstavnici novonastalih struktura su: sorbit, trustit i martenzit.

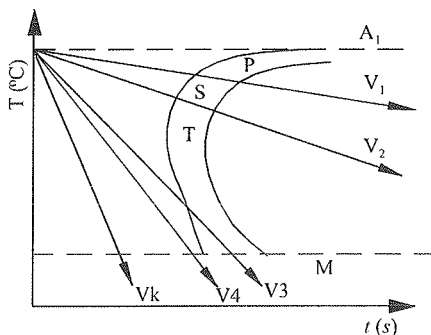
Hlađenjem čelika, pri relativno malom stepenu hlađenja austenita, kao rezultat njegove transformacije nastaje grubozrnasti perlit, tj. smjesa krupnozrnastih kristala ferita i cementita (tvrdoća takve strukture je cca HRc = 20).

Pri većem stepenu hlađenja, tj. pri hlađenju čelika u sredini sa još nižom temperaturom, na primjer 650 °C, nastaje transformacijom podhlađenog austenita disperzija (fino zrnasta) smjesa ferita i cementita, koja se zove sorbit (tvrdoća takve strukture je cca HRc = 30). Struktura sorbita je žilava, elastična, a posjeduje i dobru osobinu plastične deformacije.

Pri još većem hlađenju, na primjer pri hlađenju čelika u solnom kupatilu sa temperaturom cca 550 °C kao rezultat preobražaja austenita nastaje disperzna feritno - cementitna smjesa, trustit (tvrdoća ovakve strukture je cca HRc = 45 – 50). Čelik koji ima ovakvu strukturu ima dobre mehaničke osobine, ali nije pogodan za oblikovanje plastičnim deformacijama.

Pri velikim brzinama hlađenja austenita (kao što je hlađenje u vodi), kristalna rešetka postaje prezasićena čvrstim rastvorom ugljika, pri čemu relativno mehki kristali austenita ostaju u igličastom rasporedu. Takva struktura naziva se martenzit (što odgovara liniji M – O na dijagramu stanja). Ovakva struktura odlikuje se vrlo velikom tvrdoćom. Preobražaj austenita u martenzit nikada ne ide u potpunosti do kraja, pa je stoga neophodno zaostali austenit prenijeti u sredinu sa još nižom temperaturom.

Karakteristično je, da preobražaje austenita prati i promjena volumena (zapremine). U nizu struktura austenit - perlit - sorbit - trustit - martenzit, austenit ima najmanji, a martenzit najveći volumen.

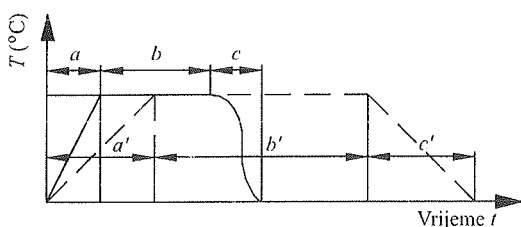


Slika 7.4 Dijagram kontinuiranog hlađenja eutektoidnih čelika

7.2 ZADATAK I VRSTE TERMIČKE OBRADE

Glavni zadatak termičke obrade je promjena osobina metala i legura i to povećanje čvrstoće uz potrebnu žilavost.

Svi postupci termičke obrade uglavnom se zasnivaju na zagrijavanju do neke određene temperature, zadržavanju neko vrijeme na toj temperaturi i zatim hlađenju nekom karakterističnom brzinom sve do sobne temperature odnosno temperature okoline. Bilo koji od ovih postupaka može se prikazati i dijagramom temperatura - transformacija - vrijeme (eng. time) odnosno TTT - dijagramom.



Slika 7.5 Dijagram režima termičke obrade

Termičku obradu čelika moguće je podijeliti u dvije osnovne grupe i to:

- postupke koji strukturu čelika približavaju ravnotežnom stanju (žarenje i poboljšanje),
- postupke koji strukturu čelika udaljavaju od ravnotežnog stanja (kaljenje).

Za zagrijavanje čelika na propisanu temperaturu upotrebljavaju se peći različitog konstruktivnog oblika. Na oblik i veličinu peći utiču oblik i veličina komada koji se želi termički obraditi, zatim vrsta metala, temperatura zagrijavanja, kapacitet peći itd.

Prema načinu punjenja peći mogu biti sa periodičnim ili kontinuiranim punjenjem. Prema načinu kako se materijal za obradu kreće kroz peći, peći mogu biti: potisne peći, peći sa valjkastim transporterima, peći sa pokretnim gredama tzv. koračne peći i peći sa obrtnim ognjištem.

Zagrijavanje peći može biti: električno (trenutno najzastupljeniji način), loženjem čvrstim gorivom odnosno tekućim ili plinovitim gorivom.

Od uređaja za hlađenje najznačajniji su solna i metalna kupatila. Solna kupatila imaju širu primjenu od metalnih. U solnim kupatilima se upotrebljavaju rastvori natrijum i kalijum nitrata i nitrita (za temperature od 200 do 500 °C), a kod metalnih kupatila upotrebljavaju se čisto olovo ili kalaj za temperature do 1000 °C.

Idealno sredstvo za hlađenje određuje se na osnovu kritične brzine hlađenja tog čelika i takvo sredstvo moralo bi omogućiti polahko hlađenje u području do 650 °C a zatim naglo hlađenje radi maksimalne transformacije austenita i na kraju minimalnu brzinu hlađenja u martenzitnom području.

Međutim takva sredstva ne postoje pa se sada najviše koriste: voda, vodeni rastvori soli i baza, ulja, rastopi metala i soli, vazduh i druge sredine ili tzv. realna sredstva za hlađenje.

7.2.1 ŽARENJE

Žarenje čelika sastoji se u zagrijavanju do određene temperature i zatim u laganom hlađenju. U zavisnosti od cilja šta se želi postići razlikuje se nekoliko grupa žarenja i to:

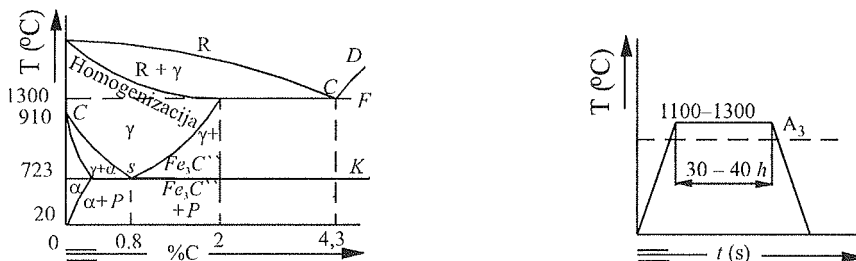
- žarenje za uklanjanje ili smanjenje neravnomjerne strukture metala (difuziono žarenje i normalizacija),
- žarenje u smislu poboljšanja karakteristika obradivosti (mehko žarenje, visoko žarenje i rekristalizaciono žarenje)
- žarenje za smanjenje ili uklanjanje zaostalih napona (napona izazvanih temperaturnim promjenama dijelova istog komada).

7.2.1.1 Difuzino žarenje

Pod difuzionim žarenjem ili žarenjem za homogenizaciju metala podrazumijeva se dugotrajno žarenje na vrlo visokim temperaturama u intervalu od 1050 do 1300 °C. Ovim žarenjem želi se postići izjednačavanje lokalnih razlika u hemijskom sastavu metala i izjednačavanju segregacija koje su nastale pri očvršćavanju čelika.

Zagrijavanje se vrši do solidus linije, ne smije doći do pregrijavanja ili topljenja metala, jer bi takav materijal bio neupotrebljiv, drži se na toj temperaturi izvjesno vrijeme i zatim hladi do sobne temperature. Obzirom da se ovim postupkom obično dobije krupnozrnasta struktura, odnosno da dolazi do smanjenja mehaničkih osobina, nakon ovog postupka potrebno je provesti onaj postupak koji će dovesti do usitnjavanja strukture a to se postiže normalizacijom.

Ovaj postupak je naročito značajan kod obrade alatnih čelika.



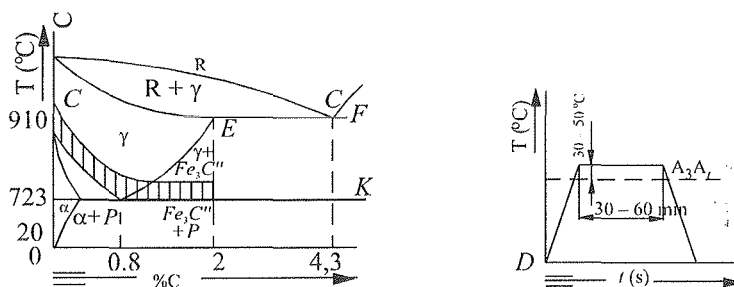
Slika 7.6 Režim difuzionog žarenja - homogenizacija

7.2.1.2 Normalizacija

Normalizacija je postupak obrade pri čemu dolazi do usitnjavanja krupnozrnaste strukture, nastale nekim drugim postupkom obrade (kovanjem, valjanjem, izvlačenjem itd.).

Usitnjavanje zrna bazira se na alotropskim promjenama odnosno prelaskom iz jedne u drugu kristalnu rešetku (alfa u gama područje). Zagrijavanje se vrši 30 do 50 °C iznad G – S – E linije i traje relativno kratko.

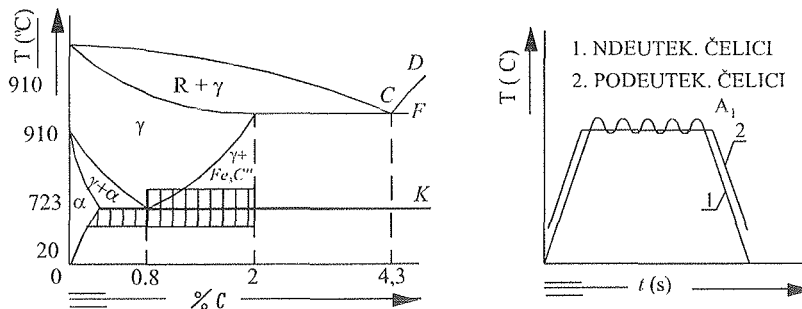
Hlađenje se izvodi polagano na vazduhu kako ne bi došlo do zakaljivanja, a time i do unutrašnjih naprezanja. Ovaj postupak se uglavnom primjenjuje na ugljenične čelike sa nižim sadržajem ugljika (do 0,3%).



Slika 7.7 Režim normalizacije ili prekrystalizacionog žarenja

7.2.1.3 Mehko žarenje

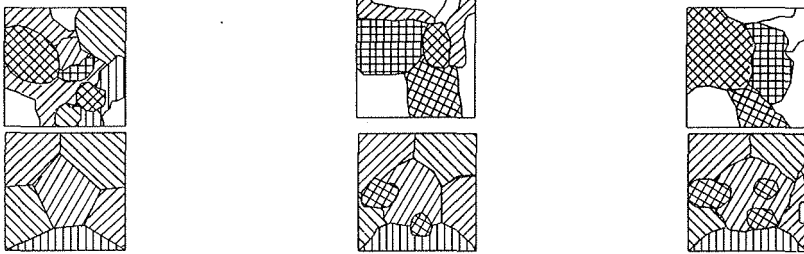
Mehko žarenje (ili žarenje na zrnasti perlit) primjenjuje se onda kada se želi postići zrnasti a ne lamelarni perlit odnosno nakon: kovanja, valjanja itd. a ima za cilj dobijanja tzv. mekše strukture pogodnije za dalju obradu. Zrnasti perlit ima dobru tvrdoću ali i povećanu plastičnost i žilavost. Nakon ove obrade metal je pogodan i za obradu skidanjem strugotine jer se rezni alat brže tupi od lamele cementita nego od zrnaste strukture perlita. Ovo žarenje primjenjuje se prije obrade kaljenjem radi smanjenja vitoperenja i pucanja kaljenih predmeta.



Slika 7.8 Režim mehskog žarenja

7.2.1.4 Rekristalizaciono žarenje

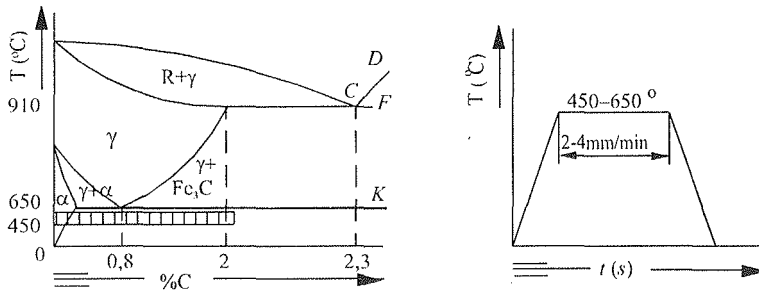
Rekristalizaciono žarenje primjenjuje se kada je nekom prethodnom plastičnom obradom zрно usmjereno i pretjerano izduženo. Takav čelik ima visoku tvrdoću a slabu plastičnost te dalje plastične obrade gotovo da nisu moguće. Čelik se zagrijava do temperature rekristalizacije, drži se na toj temperaturi izvjesno vrijeme, pri čemu čelik dobija prethodnu kristalnu strukturu i mehaničke osobine koje je imao prije plastične obrade.



Slika 7.9 Šematski prikaz rekristalizacije

7.2.1.5 Žarenje u cilju smanjenja ili uklanjanja unutrašnjih naprezanja

Nakon obrade kovanjem, zavarivanjem, valjanjem, livenjem i sl. dolazi vrlo često do neravnomjernog hlađenja, samim tim i do nastanka unutrašnjih napona. Zagrijavanjem čeličnog proizvoda na temperaturu od 450 - 650 °C, zadržavanjem na toj temperaturi izvjesno vrijeme (zavisno od debljine komada) i laganim hlađenjem doći će do eliminisanja zaostalih napona, što je zapravo i cilj ovog postupka.



Slika 7.10 Režim žarenja radi uklanjanja unutrašnjih naprezanja

7.2.2 KALJENJE

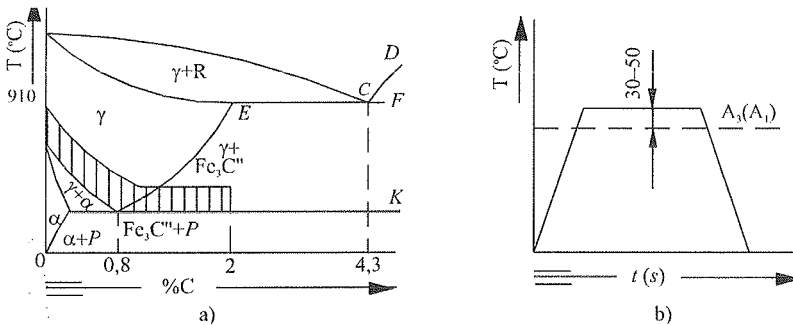
Kaljenje je postupak termičke brade koji se izvodi radi povećanja tvrdoće predmeta obrade pa se još naziva i otvrdnjavanje. Kaljenje se izvodi tako što se vrši zagrijavanje podeutektoidnih i nadeutektoidnih čelika za 30 do 50 °C iznad linije G - S - E. Dakle, čelik se zagrijava tako da se sav perlit transformiše u austenit, drži izvjesno vrijeme na toj temperaturi a zatim naglo hladi do sobne temperature. Naglim hlađenjem se obezbjeđuje da austenit ne prelazi u perlit već u neku od struktura mnogo veće tvrdoće kao što su: sorbit, trustit ili martenzit.

Zagrijavanje i hlađenje prilikom kaljenja može se izvoditi u različitim sredinama. Vrijeme zagrijavanja zavisi od debljine poprečnog presjeka i od oblika komada. Vrijeme zadržavanja na temperaturi kaljenja treba da je dovoljno da se sav perlit transformiše u austenit.

Obzirom da je kaljenje različito za različite vrste čelika, režime kaljenja treba odabirati prema preporukama proizvođača tog čelika.

Hlađenje čelika na nivo sobne temperature mora biti vrlo brzo odnosno veće od kritične temperature hlađenja, kako bi sav austenit prešao u martenzit.

Kao rashladno sredstvo najčešće se koristi: rastop soli, voda, ulje, vazduh itd.

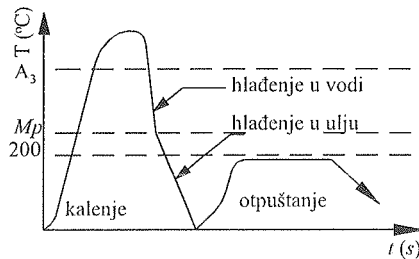


Slika 7.11 Režim običnog kaljenja

Treba napomenuti da se kaljenje nikada ne smije kaliti u oštrijem rashladnom sredstvu nego je to stvrano potrebno.

Prema načinu praktične primjene kaljenje se može podijeliti u nekoliko vrsta i to:

- obično kaljenje (najjednostavniji način, hlađenje se vrši obično u ulju ili vodi, nakon čega predmet treba odmah popuštati),
- svijetlo kaljenje (primjenjuje se kada se želi postići svijetla površina, obično u solnim kupatilima sa rastvorom NaOH i KOH),
- kaljenje strujom vode (zagrijani komad hladi se u vodenom mlazu, zato što voda ne dozvoljava stvaranje parnog omotača pri čemu se povećava dubina kaljenja),
- kaljenje u dvije rashladne sredine (kao rashladno sredstvo koristi se najčešće kombinacija vode u ulja Slika 7.11)



Slika 7.12 Kaljenje sa prekidom ili u dvije rashladne sredine

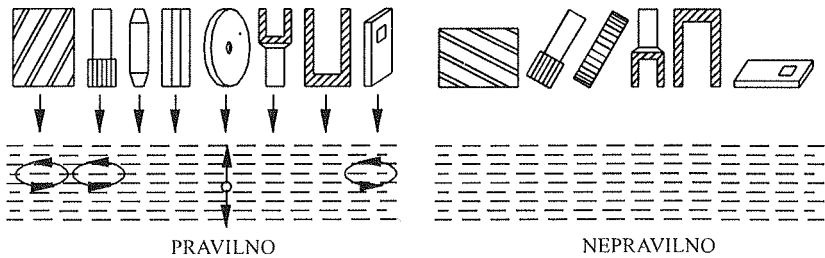
- Stupnjevito ili termalno kaljenje (hlađenje se obično odvija u solnoj kadi do temperature kada počinje nastajanje martenzita, a dalje hlađenje se vrši na vazduhu, što znatno smanjuje strukturna naprezanja u materijalu,

- površinsko kaljenje (kada se želi na predmetu dobiti tvrda zakaljena površina, pri čemu se zagrijavanje, najčešće vrši, plamenikom gorionika specijalne izvedbe), itd.

7.2.2.1 Osnovna pravila o potapanju dijelova u sredstvima za hlađenje

Nepravilno potapanje predmeta u rashladno sredstvo čest je uzrok deformacija, nakon termičke obrade.

Na Slici 7.11a, pokazano je kako dolazi do vitoperenja odnosno krivljenja komada. Naime donja vlakna predmeta su se brže ohladila od gornjih što je prouzrokovalo skupljanje prema dolje odnosno deformaciju. Da bi se to izbjeglo potrebno je komad potapati u pravcu uzdužne ose odnosno uranjanjem predmeta najmanjom površinom.



Slika 7.13 Potapanje predmeta u rashladno sredstvo

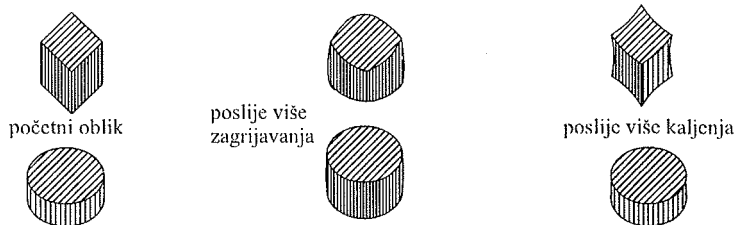
Predmete uronjene u rashladna sredstva treba lagano kretati kroz to sredstvo. Ako predmet miruje oko njega se formira tanki omotač pare, što jako usporava hlađenje, pa su rezultati kaljenja vrlo loši. Kod predmeta male mase vrši se pokretanje predmeta kroz rashladno sredstvo, dok se kod predmeta velike mase vrši pokretanje posude sa rashladnim sredstvom, iz razumljivih razloga.

7.2.2.2 Greške koje nastaju pri kaljenju

Djelovanje toplote, pri kaljenju, vrlo često izaziva napone koji na različite načine utiču na promjene dimenzija i oblika obrađivanog komada. Promjena oblika najčešće se manifestira na dva načina:

- promjena volumena (zapremine), promjena geometrije obrađivanog komada kao lakši slučaj i
- pucanje komada, tj pojava naprslina kao teži slučaj.

Greške poslije termičke obrade koje se ogledaju u promjeni volumena obrađivanog komada predstavljaju promjene porasta ili smanjenja širine odnosno visine odnosno dužine. Geometrijske promjene ogledaju se u krivljenju ili vitoperenju komada. Neke od ovih promjena su reverzibilnog (povratnog) karaktera. Na primjer, porast prečnika do koga dolazi poslije kaljenja može se djelimično smanjiti otpuštanjem. Nažalost, ako je došlo do vitoperenja komada, isti se ne može ispraviti nekom drugom termičkom metodom obrade. Ova pojava se naziva ireverzibilnom (nepovratnom). Ovakvi komadi jedino se mogu popraviti mehaničkim ispravljanjem.



Slika 7.14 Uticaj toplotnih napona na deformaciju komada

Pored ovih, naprijed navedenih, promjena neki predmeti za vrijeme kaljenja često i pucaju. To se najčešće dešava prilikom hlađenja. Pucanje materijala, nakon kaljenja, češće se dešava ako je hlađenje u vodi nego u nekom drugom rashladnom sredstvu. Uzroci mogu biti različiti, ali najčešće mogu biti:

a/ **Napetosti** koje nastaju naglim hlađenjem. Površinski dio matala se brže hladi od jezgre što uzrokuje pojavu napona koji dovode do pucanja komada.

b/ **Napetosti** koje nastaju zbog pretvaranja strukture metala. Poznato je da usljed djelovanja temperature dolazi do promjena strukture odnosno do prelaska u austenitno područje odnosno u toku hlađenja u martenzitno ili neko drugo. Specifična masa kod austenita veća je nego kod martenzita što i uzrokuje pojavu napona odnosno dovodi do pucanja.

Treba praviti razliku između napetosti i naprezanja. Napetostima nazivamo napone koji nastaju mimo naše volje, međutim napone prouzrokovane djelovanjem mehaničke sile nazivamo naprezanjima.

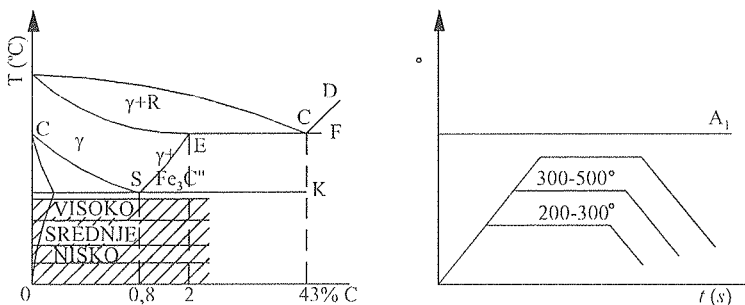
Na povećanje tačnosti obrađivanog komada poslije kaljenja može se uticati na tri načina:

- pravilnim oblikovanjem komada pri konstruisanju,
- izborom pogodnog čelika
- izborom odgovarajućeg procesa termičke obrade.

7.2.3 OTPUŠTANJE

Nakon obrade kaljenjem predmeti obično imaju vrlo veliku tvrdoću i jačinu na kidanje, međutim u isto vrijeme postaju i vrlo krhki. Da bi se predmetu smanjila krhkost, a povećala žilavost primjenjuje se metoda termičke obrade koja se zove otpuštanje (popuštanje). Prema temperaturi otpuštanja razlikuju se tri vrste otpuštanja i to:

- Nisko otpuštanje (od 100 do 300 °C), pri čemu dolazi do smanjenja unutrašnjih naprezanja. Tvrdoća i jačina na kidanje neznatno opadaju, dok se žilavost povećava. Otpuštanja se najčešće primjenjuje kod alatnih čelika, nakon cementacije i u svim slučajevima, kada treba tvrdoća ostati visoka od 58 do 60 i više HRC-a, te kada se traži naročita otpornost na habanje.
- Srednje otpuštanje (od 300 do 450 °C). Ova obrada se vrlo rijetko primjenjuje, pošto mnogi čelici u ovom temperaturnom području pokazuju znake ozbiljne krhlosti. Najčešće se ovo temperaturno područje primjenjuje kod obrade opruga.

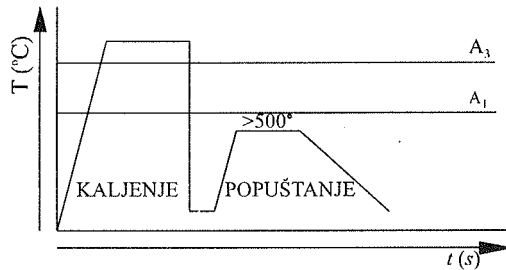


Slika 7.15 Režim otpuštanja čelika

Visoko otpuštanje (od 450 do 723 °C), pri čemu dolazi do povećanja kristalnih zrna cementita (Fe_3C). Zagrijavanjem do 650 °C, nastaje struktura sastavljena od cementita u feritnoj osnovi, koja ima dobre osobine čvrstoće i plastičnosti. Otpuštanjem iznad 650 do 723 °C nastaje zrnasti perlit koji ima veću žilavost od perlita nastalog hlađenjem iz austenita. Područje visokog otpuštanja se najviše primjenjuje pri poboljšanju konstrukcionih čelika a i kod otpuštanja nekih visokolegiranih alatnih čelika (alatni čelici za vrući rad, brzorezni čelici itd.).

Opšte pravilo za otpuštanje glasi:

Zagrijavanje na temperaturu otpuštanja mora biti lagano i ravnomjerno po čitavom presjeku i treba se izvršiti odmah poslije kaljenja.



Slika 7.16 Režim obrade pri poboljšanju čelika

7.2.4 POBOLJŠANJE (OPLEMENJIVANJE)

Poboljšanje je postupak termičke obrade koji se sastoji iz kaljenja i visokog otpuštanja. Obzirom na upotrijebljeno rashladno sredstvo pri kaljenju razlikujemo poboljšanje u vodi, u ulju ili vazduhu itd. Pri poboljšanju čelika dobijaju se uglavnom sorbitne ili trustitne strukture. Poboljšanje se primjenjuje na one predmete kod kojih žilavost ima poseban značaj. Suština postupka je pretvaranje lamelarnog perlita, preko martenzita u zrnasti perlit. Na taj način dolazi do povećanja žilavosti i granice razvlačenja, zatezne čvrstoće, plastičnosti itd.

7.3 TERMOHEMIJSKA OBRADA ČELIKA

Termohemijska obrada spada u grupu obrada koje imaju za cilj povećanje tvrdoće površinskog sloja obrađivanog predmeta. Princip termohemijske obrade zasniva se na difuzionom zasićavanju površinskog sloja predmeta. Ovim postupkom vrši se obrada ugljeničnih i alatnih čelika. Prema vrsti medija koji se koristi za obradu, razlikujemo i vrste termohemijske obrade, kao što su:

- cementacija (zasićenje površinskog sloja vrši se ugljikom),
- nitriranje (zasićenje površinskog sloja vrši se azotom),
- karbonitriranje (zasićenje površinskog sloja vrši se istovremenim uvođenjem ugljika i azota),
- difuzijska metalizacija (alitriranje, kromiranje, siliciranje i dr.).

Termohemijskom obradom vrši se hemijska promjena sastava i strukture površinskog sloja. Predmeti, koji se žele obraditi, smještaju se u sredinu bogatu elementom koji difuzijom prodire u površinske slojeve. Normalno, sav ovaj proces praćen je povišenom temperaturom.

U zavisnosti od agregatnog stanja sredine u kojoj se vrši obrada, razlikuju se termohemijske obrade u čvrstoj, tečnoj ili gasovitoj sredini.

Proces termohemijske obrade odvija se kroz tri faze i to: **disocijacija, apsorpcija i difuzija.**

Disocijacija je proces pri kome nastaje, usljed djelovanja povišenih temperatura, raspadanje molekula difuzionog sredstva tj. stvaranje aktivnih atoma. Novonastale aktivne atome površina metala apsorbuje (upije) u površinski sloj. Apsorbovani atomi usljed difuzije prodiru i dalje prema unutrašnjosti. Nakon određenog vremenskog perioda apsorbovani atomi grade čvrsti rastvor. Što je temperatura veća, veća je i brzina odvijanja sve tri faze. Dubina prodiranja tih elemenata u površinu čelika zavisi od više faktora, od kojih su najvažniji:

- temperatura,
- vrijeme
- sposobnost difuzije aktivne komponente u određeni metal.

7.3.1 CEMENTACIJA

Cementacija ili naugljeničenje je najrasprostranjeniji oblik termohemijske obrade čelika. Primjenjuje se na niskougljeničnim čelicima, sa procentom ugljika ispod 0,2%.

Cementacija se primjenjuje onda kada površinski sloj predmeta treba biti otporan, na primjer na habanje, a unutrašnjost predmeta žilava (čest slučaj je sa raznim vrstama osovina).

Komad koji se obrađuje, gotovo uvijek se radi na završnu mjeru, jer se nakon cementacije i kaljenja tvrdi površinski sloj vrlo teško obrađuje uobičajenim metodama skidanjem strugotine - rezanjem. Eventualne deformacije, nastale u toku procesa obrade, ili dodatne obrade mogu se vršiti jedino brušenjem.

Proces cementacije izvodi se iz dvije faze i to: naugljeničenja i kaljenja.

Prilikom obrade komada, koji je prethodno smješten u sredinu bogatu ugljikom usljed povećane temperature, dolazi do obogaćivanja površinskog sloja tretiranog komada. Naugljeničenje se izvodi sve dok se u površinskom sloju ne dobije obogaćena struktura sa iznosom ugljika od 0,95 % do 1,1 %, pri čemu se i završava faza naugljeničenja. Nakon obrade naugljeničenjem pristupa se obradi kaljenjem s ciljem da se u površinskom sloju postigne martenzitna struktura. Dakle, na površini je tvrda martenzitna struktura dok se u jezgru nalazi mekša feritno-perlitna struktura.

Cementaciju ili naugljeničenje moguće je izvoditi u čvrstoj, tečnoj ili gasotivoj sredini bogatoj ugljikom.

Prije cementacije u **čvrstoj sredini**, potrebno je predmete za obradu dobro odmastiti a zatim spakovati, najčešće, u specijalni metalni sanduk skupa sa sredstvom za cementaciju. Kao sredstvo za cementaciju, u ovom slučaju, najčešće se koristi: granulat drvenog uglja, karbonat natrija, barija itd. Veličina sanduka, zatim oblik i ostale mjere podešavaju se obliku, veličini i broju komada koji se tretiraju. Nakon hermetičkog zatvaranja sanduka (ne bi smjelo doći do miješanja sa gasovima iz vanjske sredine), sanduk se stavlja u peći za zagrijavanje. Zagrijavanje se vrši sve dok se niskougljenični (podeutektoidni) čelik ne zagrije do temperature pri kojoj dolazi do promjene kristalne strukture odnosno do nastanka γ - rešetke. Kao što je i u uvodnom dijelu termohemijske obrade rečeno, aktivni atomi difundiraju u površinski sloj predmeta pri čemu se i vrši njegovo obogaćivanje.

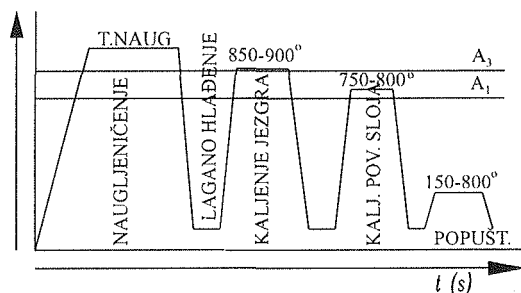
Ukoliko je potrebno da se neki dio površinskog sloja zaštiti od cementacije onda se on najčešće premazuje zaštitnim pastama koje efikasno sprečavaju prodor ugljika u površinski sloj (najčešće je to mješavina azbesta, gline, talka i slično). Nakon cementacije pristupa se kaljenju.

Obrada cementacijom je pogodnija za sitnije dijelove ako se radi u tečnoj sredini. Pripremljeni sitni dijelovi se u korpama ili obješeni o običnu žicu smještaju u kupatilo (najčešće su to solna kupatila) koje je prethodno već pripremljeno. Kao sredstvo za naugljčenje u tečnoj sredini često se koristi: kalcinisana soda (80 %), kuhinjska so (10 %) i silicijum karbid (10 %). Kupatilo se zagrijava na 850 do 920 °C, pa se zbog toga dijelovi prije smještanja predgrijavaju na 300 do 400 °C.

Cementacija u gasovitoj sredini, zbog svojih karakteristika sve više zauzima mjesto ostalim metodama. Kao cementaciono sredstvo koriste se plinovi sa visokim stepenom ugljika kao što su: metan (CH₄), ugljenmonoksid (CO) itd. Cementacija se izvodi tako što se dijelovi stavljaju u peći kroz koje struji plin. Međutim, uz određene prednosti jedan od ozbiljnih nedostataka ovog načina je što je vrlo otežana zaštita površina koje se ne žele cementirati.

Sva tri pomenuta načina cementacije imaju svoje prednosti i nedostatke. Cementacija u čvrstoj sredini je pogodna za obradu raznih vrsta komada (različitog oblika i dimenzija), relativno jednostavan način rada ali je prilično spor. Obrada naugljčenjem u tečnoj sredini je mnogo brža, omogućena je kontrola naugljčenog sloja odnosno dubina prodiranja ali je glavni nedostatak veličina komada koja je limitirana veličinom kupatila. Cementacija u gasovitoj sredini je vrlo pogodna za primjenu automatizacije, znatno je smanjen utrošak rada, omogućeno je direktno kaljenje ali su postrojenja za ovu vrstu cementacije vrlo komplikovana, skupa, zahtijevaju posebno obučeno radno osoblje itd.

Nakon cementacije pristupa se kaljenju i popuštanju. Koja će se od metoda kaljenja primijeniti zavisi od toga kakve zahtjeve treba da zadovolji obradak. Manje značajni dijelovi kale se odmah nakon naugljčenja. Kada su zahtjevi mnogo rigorozniji onda se najčešće pristupa kaljenju kao na slijedećoj slici.



Slika 7.17 Šematski prikaz cementiranja sa dvostrukim kaljenjem

Ako je potrebna manja tvrdoća površine, a dobra žilavost jezgre onda se kaljenje nakon naugljčenja izvodi sa temperature kaljenja jezgre tj. sa oko 850 - 900 °C.

U ovom slučaju jezgro postaje sitnozrnasto, a površinski sloj će imati grubi igličasti martenzit.

7.3.2 NITRIRANJE

Nitriranje je postupak termohemijske obrade koji je vrlo sličan cementaciji u gasovitoj sredini. Razlika je u tome što se kao sredstvo za obogaćivanje najčešće koristi amonijak. Površina obogaćena dušikom (azotom) je vrlo tvrda.

Nitriranje se izvodi u pećima na temperaturama od 500 - 600 °C.

Vrijeme nitriranja je prilično dugo što direktno zavisi od dubine do koje se želi izvršiti (primjera radi za dubinu nitriranja od 0,4 mm potrebno je oko 35 sati). Zbog toga je ovaj postupak vrlo skup, ali obogaćena površina svojom tvrdoćom znatno prevazilazi tvrdoću dobijenu na pr. kaljenjem. Tvrdoća dobijena nitriranjem je vrlo postojana čak i na povišene temperature (do 550 °C).

Nitrirani dijelovi imaju i dobru otpornost na habanje i dobru otpornost na dinamička opterećenja.

Zbog vrlo visoke tvrdoće nakon nitriranja ne primjenjuje se ni jedna od metoda obrade skidanjem strugotine, već se predmet prije nitriranja radi na završnu mjeru.

7.3.3 Difuzijska metalizacija (alitriranje, kromiranje, siliciranje itd.)

Sam postupak obrade je vrlo sličan prethodnim s osnovnom razlikom tj. čime se vrši obogaćivanje površine predmeta. Obrada ovim postupcima najčešće se vrši u temperaturnim intervalima između 900 i 1100 °C. Kao rezultat obrade difuzijskom metalizacijom dobijaju se metali sa povećanim osobinama kao što su: hemijska postojanost, otpornost na habanje, vatrostalnost ili kombinacija ovih osobina.

Upotrebom difuzijske metalizacije kao načina termohemijske obrade moguće je često puta vršiti zamjenu običnim ugljeničnim čelicima skupe visokolegirane postupke, za koje trebaju specijalni postupci dobijanja.

Alitrirani predmeti postaju otporni na oksidaciju. Kromiranjem se povećava otpornost na koroziju kiselinama, zatim otpornost na habanje itd.

Glavni nedostatak ovih postupaka, zbog čega oni inače i nemaju neku veliku zastupljenost, je prilično skup način rada, zatim ne postizu se neke značajnije dubine difuzionog sloja, pogoršavaju se mehaničke osobine predmeta itd.

Pitanja za obnavljanje i utvrđivanje:

1. Šta se podrazumijeva pod pojmom termičke obrade?
2. Zašto je bitno poznavanje ravnotežnog dijagrama stanja željezo-ugljik?
3. Koje strukture čelika nastaju normalnim hlađenjem, a koje zagrijavanjem i brzim hlađenjem?
4. Šta je glavni zadatak termičke obrade?
5. Nabrojati vrste žarenja.
6. Gdje se primjenjuje difuziono žarenje?
7. Šta se postiže normalizacijom?
8. Kada se primjenjuje meko žarenje?
9. Objasniti proces kaljenja.
10. Navesti osnovna pravila o potapanju dijelova u rashladnim sredstvima.
11. Navesti greške koje mogu nastati pri procesu kaljenja.
12. Kako se vrši otpuštanje?
13. Šta je cilj termohemijske obrade?
14. Objasniti proces cementacije i nitriranja.

8. KOROZIJA I ZAŠTITA OD KOROZIJE

8.1 NASTAJANJE I OBLICI KOROZIJE

Površinsko razaranje materijala predstavlja koroziju, ukoliko to nije namjerno izazvan proces, odnosno to je trošenje čvrstog materijala izazvanog hemijskim djelovanjem okoline.

Dakle, korozija je neželjena pojava, koja izaziva oštećenja na metalima tačnije na površini metala. Nakon izvjesnog vremena ta oštećenja se uvećavaju, pri čemu se relativno brzo materijal dovodi u praktički neupotrebljivo stanje

Korozijom metalni atom iz kristalne rešetke direktno reagira sa nekom molekulom iz okoline pri čemu dolazi do spajanja odnosno stvaranja novog molekularnog spoja.

Osim korozije metala ili tehničke korozije (što će i biti predmet ovog razmatranja), postoje i druge vrste korozije kao što su: geološka korozija tj. razaranje stijena u prirodi, zatim korozija nemetala koja je gotovo uvijek povezana i sa drugim pojavama kao što su starenje, drobljenje, bubrenje itd. Skup svih ovih pojava kod nemetala naziva se još i degradacijom ili razgradnjom nemetala.

Korozija kod metala u osnovi izaziva smanjenje mehaničkih osobina. Postoje dvije grupe takvih korozionih pojava. Kod prve grupe ovih pojava metal gubi svoju masu (abrazija i erozija). To se najčešće događa u cilindrima motora sa unutrašnjim sagorijevanjem kao i u nekim drugim sličnim slučajevima. Kod druge grupe ovih pojava masa metala se ne smanjuje, ali mu se ubrzano pogoršavaju svojstva ili metal mijenja svoj oblik. U tom slučaju najčešće se radi o zamoru metala, pri čemu opada njegova dinamička čvrstoća.

Korozija se dijeli, prema nastanku, na hemijsku i elektrohemijsku koroziju.

Hemijsku koroziju na metalima izazivaju agresivni plinovi, voda sa rastopljenim solima, te razne vrste kiselina i slično. Kod hemijske korozije metala dolazi do hemijskih spojeva kao što su oksidi, sulfati, sulfidi, hidroksidi itd.

Elektrokorozijska se najčešće pojavljuje na spojevima dva različita (raznorodna) metala. Kod ispitivanja nastanka ovog oblika korozije ustanovilo se da je to zapravo proizvod galvanskih struja. Galvanske struje su poznate po tome što će, naprimjer, dva različita metala uronjena u razrijeđenu kiselinu i međusobno spojena, dovesti do protjecanja električne struje usljed razlike potencijala na metalnim (uronjenim) pločama. I kod elektrokorozijske je ovaj princip zastupljen. On se manifestira tako što se kod tog procesa, metal koji predstavlja anodu u tom galvanskom sklopu otapa.

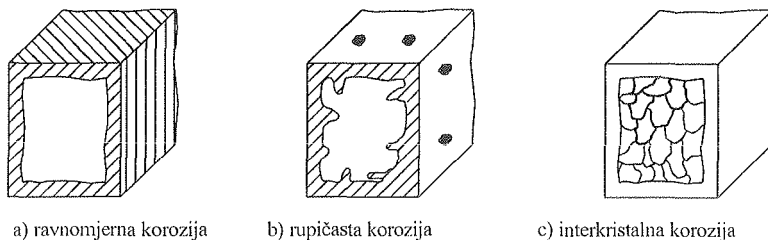
Korozija se na metalima može pojaviti kao:

- ravnomjerna, odnosno ravnomjerno raspoređena po čitavoj površini metala (čest primjer je bakar, odnosno bakreni krovovi i oluci na kućama),

- rupičasta, pri kojoj se proces korozije ne odvija ravnomjerno nego lokalno u obliku rupica koje se šire u dubinu,

- selektivna, gdje dolazi do korozije samo jedne komponente (kao, na primjer, što se često dešava kod korozija cinka u mesingu),

- interkristalna, gdje se duž granica metalnih kristala javljaju razaranja koja se manifestuju slabljenjem međukristalne veze, što neminovno dovodi do smanjenja mehaničkih karakteristika metala, pri čemu je mogućnost da dođe do loma veoma velika.



Slika 8.1 Vrste korozije

Korozija željeza i legura željeza naziva se hrđom.

Obzirom da je korozija kompleksan problem, danas se u tehničkom svijetu ulaže prilično napora, kako bi se radni vijek elementa više produžio i time se znatno povećala ekonomska efikasnost proizvoda. Dakle, ekonomski gledano, korozija je vrlo štetna posljedica jer smanjuje i vrijednost i trajnost mašina i uređaja i njihovo održavanje. Uzrokuje zastoje u radu i razne nesreće te smanjuje pozitivne karakteristike korodirane i s njom povezane opreme.

Korozija u elektrani može izazvati obustavu proizvodnje u čitavom kraju koji struju dobiva sa te elektrane. U rudniku ili avionu ona može prouzrokovati teške nesreće sa katastrofalnim posljedicama itd. Neke procjene govore da su SAD 1967. godine izdvojile oko 10 milijardi dolara za popravak, zamjenu korodirane opreme, nanošenje prevlaka uključujući i sve druge radnje na zaštiti od korozije.

Za zaštitu od korozije uglavnom se koriste sljedeće metode:

- legiranjem metala,
- prekrivanjem metalnim prevlakama,
- prekrivanjem nemetalnim prevlakama,
- zaštita hemijskim prevlakama,
- katodna zaštita itd.

Međutim, treba reći i to da jedan broj metala, sklon koroziji pod uticajem kiseonika iz atmosfere, površinski oksidira. Taj nastali površinski oksidni sloj može da bude jednačit (homogen), neporozan i čvrsto prilijepljen uz površinu metala. Taj sloj ne dozvoljava prodiranje kiseonika prema unutrašnjosti metala odnosno daljnju pojavu korozije. Ovi metali stvaraju prirodnu zaštitu od hemijske korozije. Ovakva pojava najčešće je prisutna kod aluminijuma, kalaja i cinka i naziva se korozija sa pasiviziranjem. Zapravo ovim postupkom se korozija prevodi iz aktivnog u pasivno stanje.

Zaštita legiranjem zasniva se na legiranju odnosno dodavanju elemenata koji se lako pasiviziraju. Tako, dodatkom više od 13% kroma čeliku, isti vrlo teško korodira, jer poprima korozionu postojanost kroma.

8.2 ZAŠTITA OD KOROZIJE METALNIM PREVLAKAMA

Metalne prevlake se nanose onda kada je osim zaštite značajan i metalni karakter površine, čvrstoća i tvrdoća, otpornost prema habanju, metalni sjaj te niz drugih prednosti koje pruža metal.

Zaštita metala od korozije nanošenjem metalnih prevlaka na površinu izvodi se najčešće galvanskim putem, tako da se predmet koji se zaštićuje postavi kao katoda, dok se za anodu koristi metal kojim se vrši zaštita. Pošto struja teče od pozitivnog ka negativnom polu, odnosno od anode prema katodi tu se zapravo čestice metala sa anode prenose na katodu praveći ravnomjerno raspoređen površinski sloj. Ovim putem se, na primjer, na čelik nanose zaštitni slojevi:

- bakra,
- kalaja,
- cinka,
- kadmijuma,
- nikla,
- kroma,
- aluminijuma itd.

Metalne prevlake od aluminijuma, kadmijuma i cinka služe prevashodno za zaštitu od atmosferskih utjecaja, prevlake od kroma i nikla su otporne na atmosferske utjecaje, a često se koriste i za uljepšavanje predmeta, dok su prevlake od olova, nikla, srebra i kalaja za zaštitu od posebnih hemijskih utjecaja.

Za zaštitu metalnim prevlakama najčešće su u upotrebi sljedeći postupci:

1- Metalni prah (cementiranje). Ovdje se zagrijava predmet, zajedno sa metalnim prahom na višim temperaturama, najčešće u dobošima uz pokretanje komada. Obzirom na veličinu doboša ograničena je i veličina komada za obradu.

2- Lim (platiranje). Na radni metal nanosi se metal za provlačenje, gdje je debljina oba metala u određenom odnosu. Valjanjem se oba metala čvrsto spoje jedan sa drugim. Ovim postupkom postizu se prilično jaki i čvrsto spojeni slojevi tako da se platinani materijali mogu dobro zavarivati.

3- Žica (postupak: prskanja metala ili Schoopov postupak). Žica je električnim ili gasnim putem rastopljena u **pištolju za prskanje** i pomoću pritiska se prska na predmet koji treba prevući. Postupak zahtijeva da se metal na koji se vrši nanošenje jako ohrapavi.

4- Rastopljeni metal (pocinčavanje u vatri odnosno vatreno pocinčavanje). Ovaj postupak se izvodi tako što se predmet, koga treba površinski zaštititi, provlači kroz kade gdje se nalazi rastopljeni cink ili kalaj.

5- Zaštitni slojevi se mogu stvarati i, uz pomoć i upotrebu povećanih temperatura, difuzijom. To su najčešće sljedeći postupci: alitiranje, šerardiziranje, kromiranje itd.

Zaštita metala od korozije metalnim prevlakama može se vršiti u različitim mašinama i uređajima kao što su:

- razne vrste doboša, različitog prečnika (koriste se za relativno male komade),
- zvonaste posude, npr. Stivensov zvonasti automat (upotrebljavaju se za obradu sitnih komada),
- razne vrste automata (na primjer automat za linijsko provlačenje žice) itd.

8.3 ZAŠTITA OD KOROZIJE HEMIJSKIM PREVLAKAMA

Ovaj se metod prvenstveno zasniva na principu vještačkog stvaranja antikorozivnog sloja na površini metala. Najvažniji postupci su: **eloksiranje**, **bruniranje**, **inoksidiranje** i **fosfatiranje**.

8.3.1 ELOKSIRANJE

Poznato je da se aluminij izložen atmosferskim utjecajima vrlo brzo prekrije tankim slojem oksida, koji je vrlo otporan prema koroziji. Ukoliko ovaj sloj podebljamo na vještački način, tačnije elektrolitskim putem onda se to naziva **eloksiranje** (što predstavlja skraćenicu od **električno-oksiranje aluminijuma**). Aluminijumski dijelovi su anoda (+ pol), a kao elektrolit služi sumporna (H_2SO_4) kiselina. Na predmetu se izlučuje kiseonik i stvara po površini tvrdu prevlaku od aluminijeva oksida. Ta prevlaka se može premazati nekom od anilinskih boja, pri čemu se znatno povećava vizuelni - estetski efekat.

Nakon eloksiranja neophodno je provesti i drugi korak kako bi se zatvorile i sve nastale pore tzv. **šiling** - postupak. Nakon ove metode ionako tvrda prevlaka postaje još tvrđa i otpornija. Veliki nedostatak ovog postupka je, što je prilično skupa tehnologija obrade dijelova.

Slična zaštita se može provesti i za legure magnezijuma a takvi postupci se nazivaju **elomag**-postupci.

8.3.2 BRUNIRANJE

Bruniranje je zapravo stvaranje željeznog oksida (Fe_3O_4) na vještački način, na površini metala. Bruniranjem nazivamo mazanje prethodno očišćenih dijelova (većinom naoružanja i dijelova vojne opreme) antimonovim hloridom ili natrijumovim hloridom. Nakon ovog postupka predmet se ostavi djelovanju zraka nakon čega se na površinu izluči crna otporna prevlaka. To se ponavlja u nekoliko navrata, gdje se na kraju procesa dobro zagrijan predmet namače voskom s ciljem da vosak zatvori sve pore. Komadi se i inače moraju podmazivati s vremena na vrijeme.

Bruniranje se može izvesti i šalitrom pri 45 - 50 °C u trajanju od 30 do 60 minuta, dok je jedan od jednostavnijih načina uranjanje predmeta pri 600 °C u laneno ulje.

8.3.3 INOKSIDIRANJE

Na čeličnom limu se, nekada, lahko može uočiti plava prevlaka, koja je ustvari željezni oksid (Fe_3O_4), pa takav lim mnogo teže hrđa. Ovakav se sloj može dobiti i na vještački način, pa se takva zaštita naziva **inoksidacijom**. Spoljni čelični limovi izrađuju se tako da se lim crveno užari i onda propusti između poliranih valjaka. Takvi su limovi, kao što je poznato tamnoplave boje. I alati se nekada inoksidiraju, naročito svrdla, tako da dobiju plavu boju jer se time smanjuje trenje.

8.3.4 FOSFATIRANJE

Ako se željezni predmet zaroni u vruće rastopljenu fosforu kiselinu s nekim dodacima ili u rastvoru nekih manganskih soli fosforne kiseline, nataloži se na predmetu crn fosfatni sloj debljine 0,005 - 0,01 mm. Taj se sloj spaja sa osnovnim metalom prilično dobro, ali ipak samo

dok se ne ošteti površina. Fosfatirana površina obično pocrni a zatim se prevlači nekim od lakova. Fosfatiranje je prilično ekonomičan postupak hemijske zaštite od korozije.

Slično je i **parketiranje**. Nastaje kad se željezni predmet uroni u rastopinu manganskog i cinkovog fosfata, ugrijanog na 90 °C.

8.4 ZAŠTITA BOJAMA I LAKOVIMA

Bojenje i lakiranje predstavlja najzastupljeniji metod zaštite od korozije, ne samo zbog jednostavnog načina nanošenja prevlake već i zbog jeftinih materijala koji se koriste.

Bojenje i lakiranje se može izvršiti: umakanjem, nanošenjem četkama, prskanjem (pulverzacijom), oblivanjem itd.

Lakovima nazivamo smole rastopljene u terpentinskom ulju, firnisu i drugim sredstvima koje otvrdnu kada ispari sredstvo u kome su rastopljene. Prije lakiranja treba površine dobro očistiti, odmastiti i posušiti, jer ne smiju biti masne ni mokre. Najpoznatiji je **željezni lak**, to je asfalt rastopljen u alkoholu, crne boje. Nakon lakiranja predmet se suši do 70 °C da alkohol ispari.

Postoje i mnoge druge vrste lakova kao što je **zapon-lak**, to je lak nastao topljenjem celulozoida u smjesi amilacetata i acetona, crvena ili plava providna smjesa kojom se obrađene površine i osovine gotovih mašina mažu prije transporta da ne hrđaju. Zatim **pergut**, **nitro-celulozni lak** i drugi.

Većina boja i lakova sastoji se od:

- boje (pigmenta),
- veziva,
- punila,
- razrjeđivača,
- ubrzivača sušenja, tzv. sikativa.

Obzirom na hemijski sastav, boje mogu biti:

- uljane,
- sintetske,
- celulozne,
- alkoholne,
- asfaltne,
- vodene itd.

Za zaštitu bojenjem većinom se koriste boje napravljene od firnisa ili laka. **Firnisom** nazivamo lahko sušiva ulja (obično laneno ulje) koja kuhanjem s nekim metalnim oksidima postaju još brže sušiva.

Ako je pregusta, boja se razrjeđuje razrjeđivačem. Za razrjeđivanje boja služe rastvarači, prije svega za dobijanje pogodne gustoće za nanošenje boje. Među najpoznatijima su: **benzol**, **benzin**, **acetone** i drugi.

Sam postupak nanošenja boje ili laka je relativno jednostavan. Bojenje ručnim putem ili potapanjem su najprostiji načini nanošenja premaza, dok se bojenje pulverzacijom ili prskanjem sastoji u u prskanju specijalnim aparatom laka ili boje. Naneseni sloj je tanak i ravnomjeran, često i dovoljno visokog kvaliteta. U upotrebi je nekoliko različitih vrsta pulverzatora, kao što su:

- aparati za mehaničko prskanje,
- aparati za prskanje pomoću vazduha,
- aparati za mješovito prskanje itd.

Zaštita metala vrši se tako što se nanosi tzv. osnovni ili temeljni premaz (temeljnomo bojom), a zatim pokrivni premaz (pokrivnom odnosno dekorativnom bojom).

Osnovni premaz treba da štiti od korozije pasivnim djejtvom, međutim pokrivni premaz treba da štiti osnovni premaz od utjecaja napadajućih sastojaka atmosfere. Koje boje se mogu i kada, odnosno u kojim uslovima koristiti najčešće se može pronaći i na samoj ambalaži , ali u svakom slučaju boje i lakove treba odabirati tako kako će najbolje odgovoriti traženim uslovima.

8.5 OSTALE METODE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE

Emajliranje je jedan od postupaka zaštite od korozije posebno prisutan kod sanitarnih i drugih uređaja, kod koga se vrši nanošenje sloja silikona koji se pričvršćuje za osnovni metal na povišenim temperaturama. Osnovni nedostatak ovog metoda je što je relativno neotporan na udarce, jer su emajli vrlo krhiti. Važno je napomenuti i da su emajlirane površine jako osjetljive i na nagle promjene temperature.

Najčešće se vrši emajliranje običnih konstrukcionih ugljeničnih čelika, sivog liva i u posljednje vrijeme aluminijuma.

Zaštita se može izvršiti i metodom **gumiranja i plastificiranja**, čija je zastupljenost u zaštiti od korozije i značajna i velika. Gumiranje metala je zapravo nanošenje prirodne ili sintetske gume u obliku folija ili ploča, koje se gumenim ljepkom nalijepe i zatim **vulkaniziraju** pri 100 - 140 °C. (Kaučuk i guma)

Katodna zaštita je jedna od posebnih metoda zaštite gdje se uvođenjem jednosmjerne struje, tačnije povezivanjem , na primjer u zemlji položenih cijevi, sa nekim od izvora jednosmjerne struje eliminiše pojava galvanskih struja odnosno mogućnost pojave korozije koja se manifestuje **otapanjem metala**.

Bitumenizacija je prevlačenje metala slojevima bitumena kao što su naftni bitumen, zatim katran kamenog uglja itd.

8.6 ČIŠĆENJE I KRATKOROČNA KONZERVACIJA MAŠINA I UREĐAJA

Sve mašine i uređaji podliježu pregledu u određenom vremenskom intervalu, pri čemu se utvrđuje stanje i primjenjuju radnje ka otklanjanju ustanovljenih nedostataka. Da bi se životni vijek, nekog uređaja, produžio vrlo često je potrebno izvršiti njegovu čišćenje i podmazivanje, a ukoliko takav uređaj ili mašina trebaju biti i duži period van upotrebe često puta ih treba i trajnije zaštititi ili konzervirati.

Da bi se mogao valjano zaštititi određeni predmet odnosno konzervirati mora se izvršiti temeljno čišćenje i potpuno otklanjanje od produkata korozije, pazeći pri tom da se metal ne ošteti. Čišćenje se mora izvršiti i pri tom se trebaju odstraniti i sve druge vrste nečistoća kao što su kamenac, razne nataložene masti itd.

U slučaju da se produkti korozije sastoje od poroznog materijala koji u principu nisu posebno čvrsto vezani sa osnovnim metalom, ovaj možemo potpuno očistiti običnom četkom od vlakana. U obzir dolazi čišćenje i mekom gumom ili nekim drvenim predmetom (špatulom).Ukoliko se produkti korozije ne mogu skinuti mehaničkim putem, isto možemo izvesti i upotrebom odgo-varajućih hemijskih sredstava.

Ako se produkti korozije skidaju pomoću neke hemijske ili elektrohemijske metode, treba prethodno provjeriti da li se i sam metal ne rastvara u upotrijebljenim hemijskim sredstvima.

Najčešće upotrebljavana hemijska sredstva su obični deterdžentni rastvarači, izraženi na bazi derivata nafte, sa dodatkom deterdžentnih i antikorozivnih aditiva. Uz dodatak tople vode glavna im je primjena u otklanjanju produkata nastalih sagorijevanjem (gareži) i odmašćivanjem metalnih površina. Zaštita oštećenih površina od korozije, kada se nakon potpunog čišćenja izvrši podmazivanje svježim rastvaračem traje najviše dvadesetak dana. Kao sredstvo za odmašćivanje koristi se i etilalkohol ili eter, čija je namjena odstranjivanje različitih vrsta masti (masnih fleka) itd.

U praksi su, prema dužini trajanja, prisutne tri vrste zaštite metalnih predmeta, i to:

- kratkotrajna zaštita (vrši se antikorozivnim ispiranjem u periodu između dvije operacije, koje ne traju više od četiri sata),

- kratkoročna konzervacija (vrši se s ciljem da se zaštite predmeti od korozije u periodu do 6 mjeseci)

- dugoročna konzervacija (vrši se s ciljem zaštite predmeta iznad 6 mjeseci).

Kratkotrajna zaštita se vrlo rijetko primjenjuje, osim onda kada su posebno izraženi zahtjevi za zaštitom, kao na primjer pri izradi medicinskih instrumenata i uređaja koji se ugrađuju u tijelo čovjeka.

Zaštitno ulje opšte namjene upotrebljava se za podmazivanje poslije upotrebe mašina i uređaja.

Konzerviranje je postupak kojim se zaštićuju, mašine i uređaji koji se ne planiraju koristiti za određeni vremenski period. Za konzerviranje se najčešće primjenjuju sredstva na bazi derivata nafte ili voska uz posebne antikorozivne i antioksidativne dodatke. Dijele se na zaštitna ulja i masti. Rok zaštite u vanjskoj atmosferi kreće se od 15 dana do 12 mjeseci.

Za trajniju zaštitu primjenjuju se masti za podmazivanje, tj. smjese mazivih ulja i sapuna ili voskovi. Zaštitna ulja mogu se nanijeti premazivanjem ili jednostavnim uranjanjem. Masti i voskovi se međutim, prije nanošenja rastope i u rastopljenom stanju nanose na hladan metal.

Posebnu grupu sredstava za konzerviranje sačinjavaju lakovi za privremenu zaštitu. Konzervirati se može i nekim termoplastičnim masama itd.

Prilikom dekonzervacije, ulja i masti često puta ne treba ni skidati jer su njihove osobine takve da oni služe i kao sredstva za podmazivanje u toku eksploatacije. Lakovi se mogu otpiti običnim hemikalijama za otapanje kao što su benzin ili špiritus, ili se mogu jednostavno oljuštiti.

Ukoliko se ne posjeduje ništa od predviđenih ili preporučenih sredstava za konzervaciju ona se može izvesti i jednostavnim postupcima kao što su zatvaranje u hermetičkim posudama uz prethodno oduzimanje odnosno odvođenje kiseonika, s napomenom da takvi postupci mogu poslužiti samo za kratkotrajnu konzervaciju.

Pitanja za ponavljanje i utvrđivanje:

1. Šta je to korozija?
2. Na šta se, prema nastanku, dijeli korozija?
3. Kako se korozija može manifestirati?
4. Kako se naziva korozija čelika?
5. Koje su najznačajnije metode zaštite od korozije?

6. Koji su to postupci za zaštitu od korozije prevlačenjem metalnim prevlakama?
7. Šta je to eloksiranje?
8. Šta je to bruniranje?
9. Šta je to inoksidiranje?
10. Šta je to fosfatiranje?
11. Šta je to legiranje?
12. Koji su to postupci zaštite prevlačenjem nemetalnim prevlakama?
13. Zašto je značajno čišćenje i podmazivanje?
14. Šta je to konzerviranje?
15. Na koji način je sve moguće izvesti konzerviranje?

Literatura:

1. Lj. Pejović: Obrada metala bez razaranja, Niš, 1968.god
2. A. Čavra : Tehnologija materijala, Zagreb,1967.god.
3. E. Matic : Obrada metala deformacijom, Beograd,1951.god.
4. O. Horvat: Mala mehanička tehnologija, Zagreb,1965.god.
5. V. Vujović: Obrada deformisanjem u mašinstvu, Novi Sad,1977.god.
6. B. Musafija: Obrada metala plastičnom deformacijom, Sarajevo,1988.god.
7. M.Šipovac: Mehanička tehnologija, Sarajevo, 1989.god.
8. M.Šljivić: Alati za obradu deformisanjem, Banja Luka, 1990.god.
9. Z.Simeunović: Termička obrada sa ispitivanjem, Sarajevo, 1981.god.
10. I.Pantelić: Tehnologija termičke obrade čelika, Novi Sad, 1974.god.
11. Grupa autora:ITP-priručnik Zavarivanje, Beograd, -
12. S.Savar: Obrada odvajanjem čestica, Zagreb, 1978.god.
13. R.Andelić: Rezni alati, Novi Sad ,1986.god.
14. Grupa autora: Tehnološki procesi automatske proizvodnje, Sarajevo, 1988.god.
15. M.Živčić: Zavarivanje i srodni postupci, Zagreb,1975.god.
16. Grupa autora: Korozija i zaštita metala, Beograd, 1949.god.
17. Grupa autora: Praktičar II , Zagreb, 1972.god
18. Grupa autora: Skripta za seminar specijalista za zavarivanje, Sarajevo, 1973.god.
19. A.Perić: Obrada materijala odnošenjem, Sarajevo, 1987.god.
20. Grupa autora: Materijali u mašinstvu, Banja Luka, 1987.god.
21. A.Bлагоjević: Zavarivanje i srodni postupci, Banja Luka,1981.god.
22. Razni tvornički prospekti i publikacije
23. Din-norme i JUS-standardi
24. Tehnička enciklopedija , Zagreb, 1988.god.
25. P.Stanković: Mašine alatke ,Beograd, 1966.god.
26. Grupa autora: Mašinska obrada, Beograd, 1983.god.
27. I.Milutinović: Mašinska obrada, Titovo Užice, 1985.god.
28. F.Bračanin: Tehnologija obrade, Zagreb, 1971.god.
29. B.Kraut: Strojarski priručnik, Zagreb, 1988.god.
30. Grupa autora: Tehnologija obrade, Beograd, 1981.god.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. Uloga i značaj tehnologije obrade metala | 3 |
| 1.1 Uloga i značaj tehnologije obrade metala u mašinstvu..... | 3 |
| 1.2 Podjela tehnologije obrade..... | 3 |
| 2. Obrada skidanjem strugotine - rezanjem | 5 |
| 2.1 Opšti pojmovi u obradi skidanjem strugotine - rezanjem..... | 5 |
| 2.1.1 Vrste i geometrija reznog alata..... | 5 |
| 2.1.2 Kretanje u procesu rezanja..... | 7 |
| 2.1.3 Osnovne veličine u procesu obrade skidanjem strugotine..... | 8 |
| 2.1.4 Nastajanje i vrste strugotine..... | 9 |
| 2.1.5 Otpori rezanja..... | 11 |
| 2.1.6 Sredstva za hlađenje i podmazivanje i njihov uticaj na obradu rezanjem..... | 12 |
| 2.1.7 Materijal za izradu reznog alata..... | 13 |
| 2.2 Odsijecanje na testerama..... | 17 |
| 2.2.1 Vrste i namjena mašinskih testera (pila)..... | 17 |
| 2.2.2 Standardni alati za obradu na testerama..... | 17 |
| 2.2.3 Elementi režima obrade na testerama..... | 20 |
| 2.3 Obrada na strugu..... | 20 |
| 2.3.1 Vrste i namjena strugova..... | 20 |
| 2.3.2 Standardni alat za obradu na strugu..... | 25 |
| 2.3.3 Elementi režima obrade na strugu..... | 28 |
| 2.3.4 Vrste radova na strugu..... | 28 |
| 2.4 Obrada na bušilicama..... | 31 |
| 2.4.1 Vrste i namjena bušilica..... | 31 |
| 2.4.2 Standardni alat za obradu na bušilici..... | 34 |
| 2.4.3 Elementi režima obrade na bušilicama..... | 36 |
| 2.4.4 Vrste radova na bušilicama..... | 36 |
| 2.5 Obrada na glodalicama..... | 37 |
| 2.5.1 Vrste i namjena glodalica..... | 38 |
| 2.5.2 Standardni alat i pribor za rad na glodalici..... | 40 |
| 2.5.3 Elementi režima obrade na glodalicama..... | 41 |
| 2.5.4 Vrste radova na glodalicama..... | 43 |
| 2.6 Obrada na kombinovanim i specijalnim mašinama..... | 43 |
| 2.6.1 Obrada na kombinovanim mašinama..... | 43 |
| 2.6.2 Obrada na specijalnim mašinama..... | 44 |
| 2.7 Obrada na rendisajkama i mašinama za provlačenje..... | 44 |
| 2.7.1 Namjena i vrste rendisajki..... | 45 |
| 2.7.2 Namjena i vrste mašina za provlačenje..... | 46 |
| 2.7.3 Alati za obradu rendisanjem i provlačenjem..... | 47 |
| 2.7.4 Vrste radova na rendisajkama i mašinama za provlačenje..... | 48 |
| 2.8 Obrada na brusilicama i mašinama za glačanje..... | 50 |
| 2.8.1 Vrste i namjena brusilica..... | 50 |
| 2.8.2 Osnovni oblici alata za brušenje..... | 53 |
| 2.8.3 Elementi režima obrade na brusilicama..... | 54 |
| 2.8.4 Obrada glačanjem (lepovanjem i honovanjem)..... | 54 |
| 2.9 Programsko upravljanje mašinama alatkama..... | 56 |
| 2.9.1 Značaj i primjena programskog upravljanja u savremenoj industrijskoj proizvodnji..... | 56 |
| 2.9.2 Numeričko i kontaktno programsko upravljanje..... | 57 |
| 3 Elektrofizičke i elektrohemijske metode obrade | 59 |
| 3.1 Elektrohemijska obrada..... | 60 |
| 3.2 Elektroeroziona obrada..... | 61 |
| 3.3 Ultrazvučna obrada..... | 63 |
| 3.4 Obrada snopom elektrona..... | 65 |
| 3.5 Obrada laserom..... | 66 |

| | |
|---|-----|
| 4 Obrada materijala livenjem | 68 |
| 4.1 Značaj tehnologije livenja u mašinstvu i vrste tehnoloških procesa livenja..... | 68 |
| 4.2 Livenje u pješčanim kalupima..... | 69 |
| 4.2.1 Materijali za izradu kalupa i jezgra..... | 70 |
| 4.2.2 Ostali materijali potrebni prilikom proizvodnje kalupa i jezgre..... | 72 |
| 4.2.3 Modeli , jezgrenici i kalupnici..... | 73 |
| 4.2.4 Mehanizacija i automatizacija izrade i transporta kalupa..... | 76 |
| 4.3 Livenje u metalnim kalupima - kokilama..... | 77 |
| 4.4 Centrifugalno livenje..... | 79 |
| 4.5 Livenje pod pritiskom..... | 80 |
| 4.6 Livenje preciznog liva u kalupima sa izgubljenim modelima..... | 82 |
| 4.7 Neprekidno livenje..... | 84 |
| 5 Obrada metala plastičnom deformacijom | 87 |
| 5.1 Obrada valjanjem..... | 88 |
| 5.1.1 Osnovni pojmovi o procesu obrade valjanjem..... | 88 |
| 5.1.2 Valjaonička postrojenja..... | 88 |
| 5.1.3 Poluproizvodi i proizvodi valjaonica..... | 91 |
| 5.1.4 Posebni postupci valjanja (valjanje navoja i ozubljenja)..... | 92 |
| 5.2 Izvlačenje žice..... | 94 |
| 5.3 Kovanje i presovanje..... | 96 |
| 5.3.1 Osnovni pojmovi o kovanju i presovanju..... | 96 |
| 5.3.2 Obrada materijala kovanjem..... | 97 |
| 5.3.3 Ručno kovanje..... | 99 |
| 5.3.4 Kovanje i presovanje u ukovnjima..... | 102 |
| 5.3.5 Mašine za kovanje..... | 104 |
| 5.3.6 Vrste i princip rada mehaničkih čekića..... | 104 |
| 5.3.7 Mašine za presovanje (prese)..... | 108 |
| 5.3.7.1 Prese sa direktnim pogonom..... | 108 |
| 5.3.7.2 Prese sa indirektnim pogonom..... | 111 |
| 5.4 Izvlačenje limova..... | 114 |
| 5.4.1 Osnovni pojmovi o procesu izvlačenja..... | 114 |
| 5.4.2 Vrste i princip izvlačenja..... | 114 |
| 5.4.3 Alati za izvlačenje..... | 116 |
| 5.5 Izrada cijevi..... | 116 |
| 6 Zavarivanje i lemljenje | 121 |
| 6.1 Zavarivanje..... | 121 |
| 6.1.1 Osnovni pojmovi iz zavarivanja..... | 121 |
| 6.1.2 Priprema osnovnog materijala za zavarivanje..... | 122 |
| 6.1.3 Postupci zavarivanja i podjela..... | 124 |
| 6.1.3.1 Gasno zavarivanje, princip, sredstva rada i primjena..... | 125 |
| 6.1.3.2 Elektrolučno zavarivanje, princip rada, sredstva rada i primjena..... | 130 |
| 6.1.3.3 Zavarivanje u zaštitnoj atmosferi aktivnog gasa MAG-postupak..... | 133 |
| 6.1.3.4 Zavarivanje u zaštitnoj atmosferi inertnog gasa MIG-postupak..... | 135 |
| 6.1.4 Elektrootporno zavarivanje..... | 136 |
| 6.1.4.1 Sučeono elektrootporno zavarivanje..... | 136 |
| 6.1.4.2 Preklapno elektrootporno zavarivanje..... | 137 |
| 6.2 Lemljenje..... | 139 |
| 6.2.1 Vrste lema..... | 139 |
| 6.2.2 Uslovi za nastajanje kvalitetnog spoja..... | 140 |
| 6.2.3 Postupak izvođenja lemljenja..... | 141 |
| 7 Termička i termohemijska obrada | 143 |
| 7.1 Struktura čelika i gvožđa u ravnotežnom dijagramu stanja željezo-ugljik..... | 143 |
| 7.2 Zadatak i vrste termičke obrade..... | 146 |
| 7.2.1 Žarenje..... | 147 |
| 7.2.1.1 Difuziono žarenje..... | 147 |
| 7.2.1.2 Normalizacija..... | 148 |

| | |
|---|------------|
| 7.2.1.3 Meko žarenje..... | 148 |
| 7.2.1.4 Rekrystalizaciono žarenje..... | 148 |
| 7.2.1.5 Žarenje u cilju smanjenja ili uklanjanja unutrašnjih napreznja..... | 149 |
| 7.2.2 Kaljenje..... | 149 |
| 7.2.2.1 Osnovna pravila o potapanju dijelova u sredstvima za hlađenje..... | 150 |
| 7.2.2.2 Greške koje nastaju pri kaljenju..... | 151 |
| 7.2.3 Otpuštanje..... | 152 |
| 7.2.4 Poboľšanja (oplemenjivanje)..... | 153 |
| 7.3 Termohemijska obrada čelika..... | 153 |
| 7.3.1 Cementacija..... | 154 |
| 7.3.2 Nitriranje..... | 155 |
| 7.3.3 Difuzijska metalizacija..... | 156 |
| 8 Korozija i zaštita od korozije..... | 157 |
| 8.1 Nastajanje i oblici korozije..... | 157 |
| 8.2 Zaštita od korozije metalnim prevlakama..... | 159 |
| 8.3 Zaštita od korozije hemijskim prevlakama..... | 160 |
| 8.3.1 Elokiranje..... | 160 |
| 8.3.2 Bruniranje..... | 160 |
| 8.3.3 Inoksidiranje..... | 160 |
| 8.3.4 Fosfatiranje..... | 160 |
| 8.4 Zaštita bojama i lakovima..... | 161 |
| 8.5 Ostale metode antikorozivne zaštite..... | 162 |
| 8.6 Čišćenje i kratkoročna konzervacija mašina i uređaja..... | 162 |
| Literatura..... | 165 |



